

Ю. А. КУЗНЕЦОВ

ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

„Велико есть дело достигать в глубину земную разумом, куда рукам и оку достягнуть взбраняет натура; странствовать размышлениями в преисподней, проникать рассуждениями сквозь тесные расселины, и вечной ночью помраченные вещи и деяния выводить на солнечную ясность“.

М. В. Ломоносов. О слоях земных.

Предисловие

Проблема происхождения гранитов в настоящее время является для петрологии наиболее острой проблемой. Проблема происхождения основных и ультраосновных пород повидимому считается более ясной и почти не обсуждалась за последние годы в литературе. Мне представляется, что вопрос о происхождении гранитов нельзя решать в отрыве от вопроса о происхождении других пород магматического облика, поэтому ниже будет рассмотрен вопрос о происхождении магматических пород или, точнее, пород магматического облика вообще.

В первой части работы будут по возможности кратко изложены существующие (современные) представления по вопросу о происхождении магматических пород и главные разногласия по этому вопросу, причем я воздержусь от изложения его истории, считая ее в основных чертах большинству читателей известной.

Во второй части приведен в минимальном количестве фактический материал, представляющий собой исходные данные для построения общей гипотезы образования магматических пород.

В третьей я сделал попытку сформулировать свои представления по вопросу о происхождении магматических пород, представления, основанные частью на собственных наблюдениях, частью имеющие дедуктивный характер.

Обзор взглядов на происхождение магматических пород

Определение некоторых понятий

Прежде чем перейти к изложению существа вопроса, я считаю необходимым определить содержание некоторых терминов, с которыми придется оперировать в дальнейшем.

„Магма“.—Различные авторы вкладывают весьма различное содержание в этот термин, но все сходятся в том, что магма—это материал, при затвердевании которого образуются горные породы. Разногласия касаются агрегативного состояния магмы (гомогенный расплав—раствор или смесь кристаллов и жидкости, „газовая магма“ П. И. Лебедева) [25], а также границ между понятием „магма“ и понятием „гидротермальный раствор“.

Мне кажется, что понятие „магма“ следует определить следующим образом: магма—это естественный, периодически возникающий в литосфере силикатный расплав, содержащий в растворенном состоянии некоторое количество летучих, физически гомогенный или чаще представляющий смесь жидкости и кристаллов, являющихся реликтами расплавленного (растворенного) субстрата или продуктами кристаллизации жидкости. Ведущим признаком магмы является текучесть в массе без одновременной деформации кристаллов, если они присутствуют в магме, что достигается примерно при 25 % жидкости в смеси. О рождении магмы можно говорить тогда, когда в результате медленных количественных изменений (повышение температуры, изменение состава при метасоматозе и т.д., а в результате—увеличение количества поровых жидкостей) тот или иной участок литосферы приобретает новое качество—текучесть, способность к внедрению или извержению. Другой качественный скачок отвечает переходу магмы в магматическую горную породу.

Согласно этому определению, расплав, пропитывающий породу, или раствор, фильтрующий через нее, нельзя назвать магмой, но, согласно этому же определению, совершенно закономерным является перерастание метаморфического процесса в магматический.

Получивший широкое распространение в литературе термин „мagma“, применявшийся для обозначения каши из магматической жидкости и кристаллов, согласно нашему определению понятия „магма“, является лишним.

„Магматическая порода“—продукт затвердевания магмы. Синоним—„изверженная порода“, так как магма, не перемещенная в пространстве, немислима. Так как в результате некоторых метаморфических процессов (гранитизации, базификации) могут быть получены породы, не отличимые по составу и структуре от магматических, уместно применение негенетического термина „порода магматического облика“.

„Метаморфизм“—всякий природный процесс, осуществляющийся в условиях повышенных температур и давления и выражающийся в изменении химического и минералогического состава, структуры и текстуры первичной породы, порознь или вместе, причем молекулярно-подвижная фаза во время метаморфизма присутствует в каждый данный момент в небольшом количестве, в основном в виде поровых жидкостей. Всякий метаморфизм, выражающийся в изменении химического, минералогического состава или в процессах перекристаллизации, сопровождается перемещением вещества и метасоматозом. В случае простой перекристаллизации первичной породы метасоматоз носит диффузионный характер. В случае изменения химического состава может быть диффузионным или инфильтрационным.

„Метасоматоз“ или „метасоматизм“—всякий процесс, в результате которого первичное вещество изменяет химический состав и который сопровождается привнесением одних веществ и удалением других. Метасоматоз может протекать как физический процесс вытеснения или как реакция обмена.

Метасоматоз не является специфическим метаморфическим процессом, так как осуществляется и в магматических системах, и в процессах выветривания, осадкообразования и диагенеза (например, доломитизация известкового ила), но редкий метаморфический процесс не сопровождается метасоматозом. Однако „метасоматическим метаморфизмом“ следует называть только те случаи метаморфических превращений, где наблюдается значительный приток вещества и существенное изменение химического состава первичной породы, что осуществляется, в основном, при инфильтрационном метасоматозе.

„Гранитизация“—метасоматический процесс, сопровождающийся привнесением щелочей и кремнезема (и выносом Mg, Fe, Ca), в результате которого твердая порода (без прохождения через магматическую стадию) становится более похожей на гранит, чем она была раньше, в пределе же она приобре-

тает гранитный состав. Перерастание гранитизации в магмообразование—обычное явление. Продуктами гранитизации могут быть различные фельдшпатизированные породы, гнейсы, а также некоторые граниты и гранодиориты.

„Мигматизация“—в первоначальном понимании Седерхольма [37]—механическое смешение магматического и немагматического материала, чаще в результате послойной инъекции. Позже этот термин был распространен на случаи метасоматической гранитизации. Правильнее будет употреблять этот термин в первоначальном смысле. Отсюда „мигматит“—смешанная порода, в которой отчетливо различается магматический и немагматический материал.

„Базификация“—метасоматический процесс, сопровождающийся привнесением Са, Mg, Fe, щелочей и выносом кремнезема, в результате которого твердая порода становится более основной, чем она была раньше. Базификацию обычно тесно связывают с гранитизацией, но то же явление базификации характерно и для контактового метасоматоза, связанного с среднеглубинными кислыми интрузиями. Продукты базификации—биотитовые, кордиеритовые роговики, амфиболиты, некоторые диориты и т. д.

„Реоморфизм“—частичное или полное расплавление ранее существовавших пород вследствие их нагревания и метасоматического привноса материала. Образование гранитной магмы в результате гранитизации есть частный случай реоморфизма.

Принципиальность разногласий между „магматистами“ и „трансформистами“ в вопросе о генезисе гранитоидов

Как уже отмечено, особенно велики разногласия по вопросу о генезисе гранитоидов.

Оттенков в представлениях по этому вопросу чрезвычайно много, но совершенно отчетливо все исследователи, писавшие на тему о генезисе гранитов, могут быть разбиты на две группы—„магматистов“ и „трансформистов“ или „метаморфистов“, которые полагают, что в формировании крупных гранитных интрузий ведущую роль играет чисто метасоматический процесс гранитизации. Надо сказать, что в настоящее время нет магматистов, которые не признавали бы реальности процесса гранитизации, и имеется очень мало трансформистов, которые не признавали бы образования хотя бы части гранитов чисто магматическим путем. Таким образом, на первый взгляд кажется, что различия в представлениях магматистов и трансформистов только количественные и заключаются в различной оценке роли процессов гранитизации. Однако эти различия во взглядах гораздо глубже и являются, как это подчеркнул Н. Г. Судовиков [45], принципиальными. Дело заключается в том, что по представлениям магматистов процесс гранитизации является только одним из проявлений эманационной деятельности интрузивной гранитной магмы, которая мыслится „первозданной“ или производной от другой „первозданной“ же базальтовой магмы. По представлениям „трансформистов“, метасоматическая гранитизация представляет собой совершенно самостоятельный процесс, не только не обусловленный присутствием гранитной магмы, но, наоборот, в некоторых случаях обуславливающий ее появление. Гранитная магма, по этим представлениям, является продуктом гранитизации. Следует оговориться, что примерно так представляет себе соотношение между гранитизацией и гранитной магмой большинство трансформистов, но не все. „Крайние трансформисты“ считают все интрузивные породы продуктами гранитизации.

Взгляды „магматистов“

Взгляды „магматистов“ на происхождение гранитоидов общеизвестны, для всех привычны, и на них не стоит долго останавливаться. В качестве примера кратко изложу представления некоторых крупных ученых. Наиболее

ортодоксальным магматистом показал себя в последних работах П. Ниггли [35, 36], который считает, что гранитная магма является продуктом комплексной кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы (согласно которой кристаллы, выделяющиеся первыми, опускаясь в более нагретые зоны, растворяются снова, являясь таким образом факторами переноса молекул). Вместе с тем П. Ниггли, судя по некоторым высказываниям, допускает возможность образования гранитной магмы путем переплавления древних гранитов и близких к ним пород. Гранитизацию он считает реальным процессом, но связанным с эманационной деятельностью остывающей гранитной магмы.

Н. Боуэн [10, 11] полагает, что большинство гранитов образовались из гранитной магмы, являющейся продуктом кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы, которая, в свою очередь, возникает при фракционном плавлении кристаллического перидотита симатической оболочки Земли. Но вместе с тем он допускает, что возможны и другие пути возникновения гранитов и гранитной магмы, например: образование гранитной магмы вследствие переплавления геосинклинальных осадков или гранитной оболочки Земли; в результате дифференциации синтектической магмы, образованной растворением кислого материала в базальтовой магме; не исключает также возможности образования гранитовидных пород метасоматическим путем.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг в последних своих статьях [29, 30, 31], посвященных проблеме генезиса магматических пород, попрежнему отстаивал мысль о происхождении гранитов за счет особой родоначальной гранитной магмы. Правда, в своей генетической классификации магматических пород [31] он предусмотрел такие типы, как „анатактиты“ (переплавленные породы) и „метасоматиты“ (породы, получившиеся в результате метасоматического изменения осадочной породы магмой или какими-то флюидными магматическими выделениями), но, судя по резкой критике всех гипотез метаморфического происхождения гранитов и даже гипотез возникновения гранитных магм в результате переплавления пород сиала, нужно думать, что этим генетическим группам Левинсон-Лессинг придавал очень мало значения.

В опубликованных недавно полемических статьях в качестве „магматистов“ выступили Н. А. Елисеев [13] и Г. Д. Афанасьев [5], причем последний придает большое значение явлениям гранитизации, но связывает последнюю с эманационной деятельностью кислых интрузий, оставляя в общем целиком на позициях Ф. Ю. Левинсон-Лессинга.

Взгляды трансформистов

Несколько подробнее остановлюсь на новых и пока мало еще у нас известных представлениях трансформистов. Сущность этих представлений сводится к тому, что граниты и гранитоидные породы вообще признаются не собственно магматическими, а существенно метаморфическими продуктами. Они не являются продуктами кристаллизации гранитной магмы, а возникают при метасоматической переработке занимавших ранее объем гранитного тела первичных пород любого происхождения и почти любого состава. Эта метасоматическая гранитизация в общем случае сопровождается привнесением K, Na, Si и выносом (в некоторых случаях) Mg, Fe, Ca, причем количество жидкой фазы во время процесса гранитизации очень невелико или по некоторым представлениям она вовсе отсутствует. Некоторые трансформисты полагают, что в гранитизирующейся массе постепенно увеличивается количество жидкой фазы и, наконец, она становится текучей. Количественные изменения приводят к новому качеству—возникает гранитная магма, способная к интрузиям.

Но нужно отметить, что среди трансформистов имеется очень много оттенков в понимании процессов гранитизации и даже коренных разногласий

по ряду вопросов, главным образом по вопросу о способе переноса вещества при гранитизации. Различные исследователи мыслят этот перенос осуществляющим:

- а) инфильтрацией гранитизирующих растворов, жидких или газовых;
- б) диффузией ионов в твердой среде;
- в) диффузией ионов в жидкой среде (неподвижной).

Гипотеза инфильтрационной гранитизации является наиболее старой и разрабатывалась еще в начале этого столетия Термье [58, 59], затем Седерхольмом [57], Эскола [52] и другими, а сейчас поддерживается Д. С. Коржинским [17]. Согласно этой гипотезе, привнос щелочей и SiO_2 осуществляется фильтрующимися через поры породы растворами, газовыми или жидкими. Такая фильтрация вполне реальна в условиях малых глубин, но вряд ли возможна на большой глубине и в условиях весьма высоких давлений, где главным образом и проявляются процессы гранитизации. Поэтому большинство современных „трансформистов“ главную роль в деле переноса вещества при гранитизации приписывают диффузии в твердой или жидкой среде, причем последняя мыслится в виде межзерновых пленок.

Гипотеза гранитизации путем диффузии в твердой среде („сухая гранитизация“) является среди иностранных ученых наиболее модной. В основу ее положены хорошо изученные и вполне реальные явления диффузии атомов через кристаллическую решетку, обуславливающие, в частности, явления перекристаллизации и химические реакции в твердом состоянии, без растворителя. Наиболее ярые защитники гипотезы „сухой гранитизации“—Перрен и Рубо [37], Рамберг, Бугге¹⁾—считают последнюю единственным способом образования всех гранитоидов и решительно возражают не только против возможности возникновения гранитных магм, но и против всех других мыслимых способов гранитизации.

Гипотеза гранитизации путем диффузии ионов в межзерновых жидких пленках пользуется не меньшей популярностью, чем гипотеза „сухой гранитизации“. Этой гипотезы в основном придерживаются Вегман, Кранк, Баклунд, Рид, у нас—Н. Г. Судовиков [45].

Представления Н. Г. Судовикова

Представления Н. Г. Судовикова [45] по вопросу о происхождении гранитов вкратце можно изложить следующим образом.

Все метасоматические граниты связаны с орогенными зонами, что позволяет генетически связывать гранитизацию и складкообразование, но характер этой связи остается неизвестным. Во времени гранитизация приурочена к фазе складчатости и развивается как медленно нарастающий и медленно затухающий процесс. Чаще всего гранитизация начинает развиваться в стадию наиболее сильных движений и заканчивается после полного их прекращения в условиях спокойной тектонической обстановки. Гранитизация—метасоматический процесс, часто развивающийся совместно и одновременно с мигматизацией—свободной инъекцией жидкого материала. Процесс гранитизации преимущественно, но не обязательно, глубинное явление. Этот процесс возможен и на очень малых глубинах, если учесть, что местами величина геотермической ступени снижается до 6—7 метров и что для гранитизации не обязательно полное расплавление породы. Но продукты гранитизации на малых и больших глубинах существенно различны. Для глубинных зон преобладающим является калиевый метасоматоз, для малых—натровый, выражающийся в процессах альбитизации и образовании альбитовых гранитов. В общем, в процессе метасоматической гранитизации в больших количествах мигрируют щелочи, SiO_2 , Fe, Mg, Ca. Состав мигрирующих элементов

¹⁾ По статье Боуэна [11].

зависит от состава пород субстрата, в которых развивается гранитизация. При этом большей частью наблюдается привнос K, Na и SiO_2 и вынос Fe, Mg. Противники гранитизации часто задают вопрос: почему именно граниты, а не другие породы, являются продуктами гранитизации? Этот вопрос основан на недоразумении, так как возникают и другие породы. Например, основные породы при гранитизации превращаются сначала в кв. полевошпатовые амфиболиты, затем амфиболовые гнейсы, наконец, граниты, причем процесс может остановиться на любой стадии. Но гранитный состав является предельным для гранитизации потому, что при достижении этой стадии гранитизированный субстрат становится пластичным (правильнее — „текучим“. Ю. К.) и уходит из зоны гранитизации, образуя интрузию. Таким образом, количественно нарастающий процесс приводит к новому качеству. Медленно развивающаяся гранитизация и постепенное увеличение количества жидкой фазы приводит к возникновению нового качества — способности к инъекции. Возникают массы, сходные с магматическими (по-моему, возникает „магма“!). В результате обсуждения возможных способов переноса мигрирующих веществ Н. Г. Судовиков приходит к выводу, что инфильтрация растворов мало вероятна и возможна только на малых глубинах. Мало вероятной является и диффузия в твердой среде. Повидимому, главная роль принадлежит диффузии в межзерновой жидкости, представляющей собой скорее не водный раствор, а расплав, возникающий в результате дифференциального плавления за счет ресурсов самой гранитизирующейся породы. Откуда идет поток щелочей и SiO_2 , необходимых для гранитизации, неизвестно; вынос Mg, Fe при гранитизации создает фронт базификации, продвигающийся впереди фронта гранитизации. Точно так же остается неизвестной причина (первопричина) гранитизации. Непосредственным же толчком для развития регионального метасоматоза и в том числе гранитизации, повидимому, является повышение температуры, которая вызывает возникновение межгранулярной жидкости, обеспечивающей возможность диффузии. Причины же повышения температуры могут быть различными. Разбирая вопрос о генезисе гранитных тел, Н. Г. Судовиков приходит к выводу, что среди них могут быть:

- 1) магматические интрузии (продукты кристаллизации чистых расплавов реоморфического происхождения);
- 2) немагматические интрузии (внедрение относительно жестких, но пластичных масс с небольшим количеством жидкой фазы);
- 3) несмещенные, неинтрузивные тела, залегающие на месте своего образования (широко развиты в областях региональной гранитизации).

Батолиты, по Н. Г. Судовикову, в основном неинтрузивные тела, в которых, однако, местами может иметь место переход гранитизированных пород в реоморфическое состояние, а, следовательно, и развитие структур течения, которые могут быть приняты за признаки магматического происхождения батолитов. Связь гранитных интрузий с рудами, по Н. Г. Судовикову, не генетическая, а парагенетическая: те и другие приходят из областей гранитизации, причем оруденение верхних зон орогена он рассматривает как одно из проявлений фронта базификации.

Критика представлений Н. Г. Судовикова

Эта в общем весьма интересная статья Н. Г. Судовикова подверглась критике со стороны Г. Д. Афанасьева [5] и Н. А. Елисеева [15]. Критические замечания Г. Д. Афанасьева сводятся по существу к тому, что Г. Д. Афанасьеву кажутся сомнительными те или иные представления Н. Г. Судовикова и что он стоит на позициях Ф. Ю. Левинсон-Лессинга в вопросе о происхождении гранитов.

Гораздо больший интерес представляет острая полемическая статья Н. А. Елисеева. Основные положения этой статьи в самом кратком изложении могут быть сформулированы следующим образом:

а) автор указывает, что Н. Г. Судовиков не работал в последокембрийских складчатых зонах и настоящих гранитов не видел, отсюда у него явное преуменьшение роли „интрузивных гранитов“. Вместе с тем Н. А. Елисеев не отрицает метасоматического происхождения некоторых гранитов;

б) Н. А. Елисеев считает, что Н. Г. Судовиков делает ошибку, говоря только о метасоматозе при гранитизации и не замечая, что гранитизация начинается с плавления, причем селективное плавление может перерасти в полное. Н. А. Елисеев полагает при этом, что расплавы, возникающие в небольших количествах при гранитизации в виде межзерновой пленки, можно считать магмой. Иначе говоря, по Н. А. Елисееву, гранитизация—это не метасоматоз, а селективное выплавление гранитных расплавов. (Это, с моей точки зрения, непонимание или явное нежелание понять основной вывод Н. Г. Судовикова, хотя я и согласен с Н. А. Елисеевым, что одним из результатов гранитизации является появление гранитных расплавов. Плавление при гранитизации с прогрессивным увеличением жидкой фазы является результатом не только повышения температуры, но и изменения состава субстрата при метасоматозе. Кроме того, плавление—это только одна сторона процесса; другая—изменение состава твердой фазы. Кроме того, с моей точки зрения, межзерновую жидкость, появляющуюся при гранитизации, нельзя называть „магмой“, хотя бы она и представляла силикатный расплав);

в) Н. А. Елисеев совершенно правильно отмечает, что Н. Г. Судовиков неправильно употребляет термин „пластичность“, когда говорит о том, что крайний продукт гранитизации в результате увеличения количества жидкой фазы приобретает пластичность и становится способным к интрузиям. В данном случае лучше говорить о жидко-текучем, а не пластичном состоянии;

г) Н. А. Елисеев выражает в своей критической статье сомнения по целому ряду вопросов. Так, для него сомнителен состав мигрирующих веществ, причины гранитного состава конечных продуктов гранитизации, возможность проявления базификации и т. д. Н. А. Елисеев при этом приписывает трансформистам и, в частности, Н. Г. Судовикову, такие мысли, которые никем и не высказывались. Например, нигде Н. Г. Судовиков не говорит о том, что ультраосновные породы могут образоваться в результате базификации;

д) наиболее интересную мысль Н. Г. Судовикова о том, что „процесс постепенной гранитизации... можно рассматривать, как некоторый количественно нарастающий процесс, приводящий к новому качеству. Медленно развивающаяся гранитизация и постепенное увеличение количества жидкой фазы приводит к возникновению новых качеств, именно—способности к инъекции интрузии. Возникающие при этом массы во многих отношениях становятся сходными с магматическими...“ Н. А. Елисеев не понял или не хочет понять и этим показал свою полную философскую беспомощность. А мысль эта безусловно верная, и из-за нее одной можно простить все остальные грехи Н. Г. Судовикова. Я бы только вместо последнего предложения в приведенной цитате написал: „Так рождается гранитная магма“;

е) в заключении своей статьи Н. А. Елисеев обсуждает вопрос: являются ли идеи трансформистов прогрессивными? и, естественно, приходит к отрицательному выводу, обвиняя трансформистов в пренебрежении данными экспериментальной петрографии, учения о фациях, существующей теории метасоматоза и т. д.

Свою оценку идеям трансформизма он формулирует следующим образом: „Трансформизм складывался в отрыве от действительности. Для него

характерен агностицизм, элементы мистики, придание явлениям гранитизации и метасоматоза чего-то таинственного, не поддающегося изучению современными методами исследования“.

Прогрессивны ли идеи трансформистов?

Действительно, в статье Н. Г. Судовикова, да и в работах многих других трансформистов, имеется много крайностей, многие заключения ничем не обоснованы и возражений против этих представлений может быть выдвинуто много. Но правильным ли будет огульное охаивание этих новых идей и полное отрицание их прогрессивной роли в петрологии?

Эти представления безусловно прогрессивны, несмотря на все преувеличения и ошибки трансформистов и несмотря на всю критику их со стороны Н. А. Елисеева и других магматистов.

Прогрессивны они, прежде всего, потому, что именно трансформисты обратили внимание на то, что породы магматического облика могут иметь и иное, немагматическое происхождение. В результате исследований трансформистов разрушено старое привычное представление, что массивно-кристаллическое строение породы является бесспорным и само собой очевидным доказательством магматического ее происхождения. Поэтому в настоящее время каждый геолог уже обязан учитывать различные возможные способы образования гранитоидов (и других пород магматического облика) и искать и приводить в описаниях доказательства не только метасоматического, но и магматического происхождения. В связи с развитием идей трансформистов назрела необходимость разработки генетических критериев для пород магматического облика. Иначе говоря, новая постановка вопроса о генезисе гранитов стимулирует развитие петрологической науки вообще.

Прогрессивными представления трансформистов являются также и потому, что только трансформисты (правда, только некоторые из них), в процессе изучения метасоматических гранитов и разработки гипотез гранитизации, подошли вплотную к вопросу о причинах и условиях рождения гранитной магмы и сделали более или менее удачные попытки в этом направлении. Для „магматистов“ же является характерным, что почти все они занимаются только вопросами происхождения горных пород и старательно обходят, или просто не считают нужным обсуждать вопрос о происхождении и развитии самих магм, считая их вечно существующими, первозданными („родоначальные“ магмы Ф. Ю. Левинсон-Лессинга), вездесущими (по выражению Ниггли), обнаруживая тем самым свою метафизическую сущность.

Но нужно обратить внимание здесь же на одну вредную и антинаучную тенденцию, присущую и крайним метаморфистам (Перрен и Рубо, Баклунд, отчасти Судовиков), и крайним магматистам (Ниггли, отчасти Боуэн),—тенденцию, выражающуюся в стремлении создать универсальную петрогеническую теорию, подчеркивая не „единую“, а „универсальную“ в том смысле, что в этих „универсальных“ теориях все многообразие явлений объясняется единственной универсальной причиной. Например, у Боуэна и Ниггли такой универсальной теорией является теория кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы, с помощью которой они пытаются объяснить происхождение всех магматических пород. Перрен и Рубо вообще не признают магматического происхождения за интрузивными породами, считая, что все они являются продуктами метасоматоза в твердом состоянии. Совершенно очевидно, что всякая подобная „универсальная“ теория, не учитывающая всей сложности геологических явлений и изменчивости их в пространстве и времени, заранее обречена на неудачу, являясь метафизической. В. И. Ленин, говоря о диалектических законах развития, считал нужным подчеркнуть, что „явление богаче закона“, а наши метафизики „универсалисты“ пытаются втиснуть природу в искусственную схему, экстраполированную большей

частью из одного частного случая, где она может быть и оказывается действительной.

Нельзя не отметить при этом Левинсон-Лессинга, который всю жизнь боролся с боуэнской универсальной теорией кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы и одним из первых обратил внимание на то обстоятельство, что породы близкого химического и минералогического состава, обычно объединяемые в одну классификационную группу, могут иметь различное происхождение, т. е. могут быть гетерогенными. Признание широкого распространения гетерогенных образований нашло отражение и в его генетической классификации магматических пород, опубликованной в одной из последних его статей [31].

Обзор взглядов на происхождение основных и ультраосновных пород

По вопросу о генезисе основных и ультраосновных пород разногласий значительно меньше. Коренной вопрос о магматогенном или метаморфогенном их происхождении почти всеми исследователями решается однозначно и почти никто не сомневается в их магматическом генезисе. Исключения представляют лишь некоторые крайние трансформисты, которые вообще отрицают магматическое происхождение всех интрузивных пород и связывают возникновение основных и ультраосновных интрузий с процессами базификации.

Существенные разногласия имеются по вопросу о самостоятельности ультраосновной магмы. Многие и пожалуй даже большинство исследователей (Боуэн [10], Ниггли [35], Левинсон-Лессинг [29]) считают, что все ультраосновные породы являются продуктами кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы. Наряду с ними Холмс [56], Г. Хесс [54], Алешков [1], к этому же склоняется Д. С. Белянкин [7], приводят достаточно убедительные доказательства того, что ультраосновные породы образуются за счет особой ультраосновной магмы, возникающей при плавлении перидотитового субстрата симы. Г. Хесс [54] при этом предполагает, что в природе имеется два основных генетических типа гипербазитов—один из них является продуктом кристаллизации ультраосновной магмы, другой—продуктом кристаллизационной дифференциации—базальтовой.

Имеются также разногласия и относительно природы субстрата, за счет которого образуются основные и ультраосновные магмы. Боуэн [10, 11] считает базальтовую магму продуктом фракционного плавления перидотитового пояса литосферы. Большинство исследователей признает наличие базальтового пояса, располагающегося над перидотитовым и являющегося источником базальтовых магм. Наряду с этим во время дискуссии по вопросам космогонии [46], состоявшейся в апреле 1951 г., Четвериковым были доложены результаты изучения искусственной горной породы, образовавшейся при сплавлении мергелей при подземном сжигании (газификации) каменного угля. Она имела офитовую структуру и состояла из анортита, геденбергита и железистого оливина, т. е. состав основного габбро и вполне „магматический“ вид. Привлекая данные физической химии, он приходит к выводу, что основные магмы могут быть продуктами селективного плавления всякого основного материала и что признание наличия „базальтовой оболочки“ литосферы не обязательно. К этому же выводу на других основаниях пришел раньше В. Н. Лодочников [34].

Наконец, имеются разногласия по вопросу о причинах разнообразия основных и ультраосновных пород. Одни исследователи видят причину разнообразия в явлениях кристаллизационной дифференциации, другие главную роль приписывают ассимиляции и т. д., но на этих вопросах мы уже задерживаться не будем.

Исходные данные для построения общей гипотезы образования магматических пород

Основания для выделения трех генетических комплексов

На первом совещании по вопросам космогонии, состоявшемся в апреле 1951 г. в Геофизическом институте Академии наук СССР, подвергся все-стороннему обсуждению доклад академика О. Ю. Шмидта „Проблема происхождения Земли и планет“ [46]. Гипотеза О. Ю. Шмидта подверглась резкой критике со стороны ряда астрономов, но была горячо поддержана громадным большинством геофизиков и геологов. Действительно, эта гипотеза лучше других согласуется с основными данными геологии и геофизики и дает в руки геолога хорошее оружие для разработки новых геологических, в частности и петрологических гипотез и теорий. Напомню вкратце ее основные положения, касающиеся состояния и направления развития нашей планеты. Земля возникла путем скопления космической пыли и метеоритного вещества и никогда не была в полностью расплавленном состоянии, являясь, наоборот, в первые моменты своего существования холодным телом. Разогревание Земли в результате радиоактивного распада давно началось, идет сейчас и будет продолжаться еще много миллиардов лет. Этот разогрев и является мощным источником энергии для горообразования. Другой источник энергии заключается в постепенной дифференциации (гравитационной) вещества Земли. Гравитационная дифференциация в пластичной, но вязкой разогретой среде идет очень медленно, сводится к поднятию легких частиц и вертикальному перемещению вещества вообще и является причиной, например, глубокофокусных землетрясений. По расчетам О. Ю. Шмидта эта дифференциация вещества может выделить такое же количество энергии, как и радиоактивный распад.

В дальнейшем состояние и строение Земли, а также основные формы движения ее рассматриваются с точки зрения гипотезы О. Ю. Шмидта.

Давно установлено, что наиболее распространенными типами магматических пород являются, с одной стороны, базальты и андезиты, с другой — граниты и гранодиориты.

Эли де-Бомон еще в 1847 г. сделал заключение, что существуют две, в корне противоположные группы магматических пород: первая — основная группа, преимущественно вулканическая, но включающая также траппы и серпентиниты, и вторая — кислая, преимущественно плутоническая и гранитная. Каждая группа сопровождается собственной свитой характерных минеральных месторождений, причем существуют коренные отличия в способе внедрения между гранитом и другими магматическими породами. Позже было установлено, что гранитные и гранодиоритовые интрузии пространственно приурочены к складчатым зонам, а во времени — к фазам складчатости, в то время как массовые излияния лав (преимущественно основных) происходят или до складчатости — в стадию погружения геосинклинальной зоны, или после складчатости, в связи с возникновением глубоких разломов. А. А. Полканов [39, 40] четко установил принципиально отличные формы проявления магматической деятельности для областей кратогена и областей орогена. Первые характеризуются трещинными интрузиями и излияниями основной магмы, которые сопровождаются пластовыми интрузиями, лополитами и лакколитами, а также различными кольцевыми и центральными интрузиями, преимущественно той же основной, редко щелочной магмы. В зонах орогена отчетливо выделяются: а) доорогенный магматизм, проявляющийся в виде подводных (часто глубоководных) экструзий, даек и пластовых интрузий основной магмы, которые оказываются деформированными вместе с вмещающими геосинклинальными толщами и проявляются в зеленокаменной

фазе в виде характерных спилито-кератофировых и диабазовых серий; б) синорогенные интрузии кислой магмы батолитового типа, корневые части которых представляют зоны мигматизации и гранитизации; в) посторогенные, преимущественно трещинные интрузии и экструзии, главным образом андезитовых лав. То есть доорогенный и посторогенный вулканизм зон орогена имеет много общих черт с вулканизмом областей кратогена, но синорогенный резко выделяется преимущественным развитием кислых—гранитоидных интрузий. В работе по фациям магматических пород [20] мной было подчеркнуто, что экструзивная и гипабиссальная фации характеризуются преимущественным развитием пород основного состава или продуктами дифференциации и ассимиляции основной магмы, фация же средних глубин и абиссальная представлены гранитоидными интрузиями.

Все эти бесспорные закономерности и обобщения современной геологии, а также ряд других фактов позволяют сделать вывод о существовании в природе прежде всего двух генетически самостоятельных комплексов магматических пород: гранитоидного, проявляющегося в абиссальной и среднеглубинной фациях, и базальтоидного, проявляющегося в гипабиссальной и экструзивной фациях, т. е. вернуться к представлениям Ф. Ю. Левинсон-Лессинга о гранитной и базальтовой магмах, но на новой основе. Эти представления распространились и за границей. Например, Андерсен и Кеннеди [42] магматические образования подразделяют на две генетические группы: „вулканическую“ и „плутоническую“ ассоциации, включив в первую продукты базальтовой магмы, представленные лавами и сопутствующими им мелкими интрузивными телами, а во вторую—гранитоидные интрузии и связанные с ними мигматиты и гранитизированные породы. Рид, в результате своих „рассуждений о граните“ [42], приходит к выводу о существовании трех больших классов пород: „нептуническом“, „вулканическом“, полностью соответствующем вулканической ассоциации Андерсена и Кеннеди, и „плутоническом“, в котором он объединяет гранитоиды и все метаморфические породы, с чем, конечно, никак нельзя согласиться.

Таким образом, можно не сомневаться в реальности существования в природе самостоятельных базальтоидного и гранитоидного генетических комплексов магматических пород. Но мне представляется, что наряду с ними можно выделить третий особый генетический комплекс гипербазитовых интрузий, распространенный, впрочем, весьма незначительно.

Рассмотрим более подробно эти три генетических комплекса.

А. Гранитоидный комплекс

Давно и совершенно определенно установлено, что кислые изверженные породы проявляются преимущественно в интрузивной форме, причем гранитоидные интрузии так же, как и участки гранитизации, всегда размещаются в складчатых зонах, будучи и во времени приурочены к фазам наиболее напряженных складчатых движений, завершающих формирование данной структурной зоны. Кислые эффузивы липаритового и дацитового состава в большинстве случаев являются продуктами посторогенного вулканизма (реже доорогенного), и вопрос о генетических связях их с той или иной магмой в разных случаях видимо будет решаться различно.

Абиссальные гранитоиды [20], залегающие только среди археозойских и нижнепротерозойских кристаллических сланцев, в громадном большинстве случаев проявляются или в виде конкордантных акмолитовых тел, сопровождающихся массовой артеритовой инъекцией (мигматизацией), или же в виде зон сплошной метасоматической гранитизации. В том и другом случае отсутствуют резкие контакты и налицо постепенные переходы к вмещающим породам, наличие структур замещения и унаследованных гнейсовых текстур. В общем, эти интрузии в подавляющем большинстве случаев

несут все признаки метаморфогенного—метасоматического происхождения. Секущие интрузии гранитоидов в абиссальной фации занимают подчиненное происхождение. Абиссальные гранитоиды большей частью характеризуются однообразным гранитным составом, представлены преимущественно калиевыми (микроклиновыми) гранитами и появление более основных разновидностей является редким.

Среднеглубинные гранитоиды [20], в противоположность абиссальным, в большинстве случаев образуют секущие „интрузивные“ тела, залегающие с резким контактом среди складчатых нормально осадочных (реже среди кристаллических сланцев) толщ, испытавших в контакте роговиковую перекристаллизацию (наложенную в случае контакта с кристаллическими сланцами). Элементы самостоятельной внутренней прототектоники наблюдаются часто; линейные текстуры обычны, но они не являются унаследованными. Среднеглубинные интрузии имеют в основном гранитный или гранодиоритовый состав, но в краевых зонах обычными являются сиенитовые, диоритовые и даже габбровые и горнблендитовые типы пород, что связано с значительным масштабом ассимиляционных явлений. Эти интрузивы в общем производят впечатление магматических образований и не обнаруживают таких ясных признаков метасоматического происхождения, как абиссальные гранитоиды.

Нет сомнения в том, что именно игнорирование фациальных особенностей интрузивов является причиной резких разногласий между „магматистами“ и „трансформистами“, так как большинство ведущих „трансформистов“ всю жизнь работали среди метаморфических толщ докембрия, а большинство „магматистов“ хорошо знает интрузии средних глубин и никогда не имело дела с древним докембрием.

В своей работе „Схема классификации фаций магматических пород“ [20] я выделил, кроме абиссальной фации магматических пород, также и еще более глубинную—ультраабиссальную (чарнокитовую). Гранитоиды этой фации весьма своеобразны (гиперстен-гранатовые граниты, граносиениты и гранодиориты, гиперстеновые кв. диориты) и возникают видимо в совершенно специфических условиях, размещаясь всегда внутри комплекса кристаллических сланцев фации гиперстеновых гнейсов. В южной части Енисейского кряжа ультраабиссальные гранитоиды („чарнокиты“) характеризуются массивным сложением, обликом изверженных пород, наличием ксенолитов вмещающих пород и в некоторых случаях секущими контактами при полном, однако, отсутствии проявлений контактового метаморфизма. Но вместе с тем чарнокиты характеризуются теми же минеральными ассоциациями, что и вмещающие кристаллические сланцы, и состоят из переменных количеств кварца, ортоклаза, плагиоклаза, гиперстена, моноклинного пироксена, граната, отличаясь только несколько повышенным содержанием калиевого полевого шпата. Структуры чарнокитов гранобластические со слабым проявлением гипидиоморфизма. Среди чарнокитов так же, как и среди вмещающих гранатовых и гиперстеновых гнейсов, часто наблюдаются прослойки и линзы грубозернистого материала, обогащенные кварцем и ортоклазом и обладающие иногда письменной структурой. В свое время я пришел к выводу о латераль-секреционном происхождении этих пегматитовидных образований и об образовании чарнокитовых тел в результате ультраметаморфизма (палингенеза) без участия в этом процессе летучих веществ, причем четко подчеркнул кардинальные отличия чарнокитовых образований от более поздних абиссальных гранитов (таракская и посольненская интрузии), возникших в результате метасоматической гранитизации и мигматитовой инъекции, осуществлявшихся при значительном участии летучих.

Хорошо известные особенности условий залегания, состава и строения гранитоидов орогенных зон, отчасти изложенные выше, позволяют сделать следующие общие выводы:

1. Гранитоидные тела в различных фациальных условиях проявляются различно и образуются различными путями.

а) Ультраабиссальные гранитоиды (чарнокиты)—результат „сухого“ ультраметаморфизма, сопровождающегося некоторым привнесением щелочей (обогащение калиевым полевым шпатом, иногда кварцем.) В том случае, если в результате такого ультраметаморфизма образуются значительные объемы пород граносиенитового состава, они приобретают подвижность и становятся способными к интрузии, но такая „палингенная“ магма не обладает достаточным запасом энергии, не может вызвать контактового метаморфизма и не может уйти далеко.

б) Абиссальные гранитоиды—в значительной своей массе—продукт гранитизации на месте, но гранитизации „мокрой“, так как участие летучих в этом процессе является несомненным и доказывается метасоматическим развитием решетчатого микроклина, биотитизацией граната и гиперстена и т. д. Некоторые абиссальные гранитоидные тела повидимому представляют собой продукт послойной инъекции магмы, сопровождающейся явлениями мигматизации. Реже—это секущие тела.

в) Среднеглубинные гранитоиды—в основном секущие интрузивные тела, образованные внедрением кашеобразной магмы, преимущественно гранитного и гранодиоритового состава. Повидимому в условиях среднеглубинных фаций широко распространены и явления гранитизации. Во всяком случае необходимы специальные исследования для решения вопроса о механизме образования среднеглубинных гранитоидных plutонов.

г) Гипабиссальные гранитоиды (и кислые эффузивы) представляют собой продукт кристаллизации (и затвердевания в виде стекла), преимущественно гомогенной жидкой магмы. Вопрос о происхождении этой магмы в разных случаях повидимому решается по-разному. Часть кислых лав и гранитоидов почти несомненно, судя по составу магматических комплексов, с которыми они связаны, имеют „базальтоидное“ происхождение. Часть же, вероятно,—„гранитоидное“. Впрочем, поднятие гранитоидных магм в самые верхние слои литосферы и излияние их на поверхность земли—явление маловероятное и, если осуществляется, то редко. Во всяком случае среднеглубинные гранитоиды в большинстве случаев образовались из кашеобразных магм, а гипабиссальные—из гомогенных. Поднятие же в верхние слои литосферы каши из жидкости и кристаллов должно вести прежде всего к потере летучих, увеличению вязкости и кристаллизации магмы, но никак не к ее полной гомогенизации.

2. Разнообразие петрографического состава гранитоидных тел также обусловлено различными причинами в условиях различных фаций.

а) В ультраабиссальной фации петрографическое разнообразие „автохтонных“ тел чарнокитов объясняется составом субстрата, испытывавшего ультраметаморфизм, отчасти количеством привнесенного калия. Постоянство состава (гиперстен-гранатовые граносиениты) „аллохтонных“ чарнокитов, вероятно, обусловлено тем, что эти породы имеют анхизвтектический состав, причем именно граносиенитовый, а не гранитовый состав эвтектики, возможно, обусловлен смещением положения эвтектической точки в сторону полевых шпатов в условиях очень больших давлений¹⁾.

б) Абиссальные тела гранитоидов характеризуются вообще весьма однообразным, преимущественно гранитным анхизвтектическим составом. Некоторое разнообразие, выражающееся в основном в изменении содержания биотита и микроклина, обусловлено степенью метасоматической фельдшпатизации (гранитизации), в других случаях—ассимиляцией и мигматизацией, т. е. всей совокупностью контактных явлений.

¹ Влияние изменения давления на температуру плавления наиболее сильно сказывается именно у кварца. Отсюда—теоретически возможным является определение глубины формирования гранитоидов по содержанию кварца в анхизвтектических системах.

в) Петрографическое разнообразие среднеглубинных гранитоидных интрузий почти целиком обусловлено контактными явлениями (реакционная ассимиляция и экзоконтактный метасоматоз), некоторую роль играет „газовая“ дифференциация (гранит-аплиты апикальных частей гранитных интрузий Алтая). Другие виды дифференциации в становлении гранитоидных массивов никакой роли не играют. Структурное и отчасти минералогическое разнообразие абиссальных и среднеглубинных гранитоидных тел может быть также обусловлено явлением аутометаморфической перекристаллизации и собирательной кристаллизации, а также аутометаморфическим и аллометаморфическим (наложенным) метасоматозом (микроклинизация гранодиоритов с образованием порфировидного микроклинового гранита по Г. Д. Афанасьеву [3, 4]).

г) Кислые гипабиссальные интрузии „гранитоидного“ происхождения не выделены, не изучены и вряд ли пользуются широким распространением.

3. Следовательно, гранитоиды различных фаций глубинности являются или продуктами метаморфизма и ультраметаморфизма на месте, или продуктами затвердевания интродуцированных масс — „магм“, рождающихся при этих процессах, как выражение появления нового качественного состояния при медленном нарастании количественных изменений термодинамических условий и состава субстрата при метаморфизме.

Б. Базальтоидный комплекс

Естественно, что наиболее достоверный материал для выяснения индивидуальных особенностей базальтоидного комплекса может дать четвертичный вулканизм, продукты которого достаточно хорошо изучены и по которому имеются обобщающие работы Вольфа [60], А. Н. Заварицкого [14]. Сравнительное изучение продуктов четвертичного вулканизма позволяет по ряду особенностей химизма и минералогического состава выделить среди них прежде всего два характерных типа, которые издавна получили названия: „тихоокеанского“ и „атлантического“. Промежуточными между ними является „средиземноморский“ тип пород.

Тихоокеанский тип четвертичных вулканических пород пространственно связан с тихоокеанской и альпийской складчатыми зонами. Для него характерны нормальная щелочноземельная серия магматических пород, причем наиболее распространенными являются андезитовые, базальтовые и дацитовые лавы, редко риолиты и очень редки щелочные типы. Естественно, что лавы не всегда могли прорваться на поверхность и частично застывали на некоторой глубине с образованием пород интрузивного облика. Во всяком случае, в глубоко размытых вулканических аппаратах установлены дайки, штоки и лакколиты, сложенные породами типа габбро, диорита, перидотита, редко встречаются монцонит и эссексит. Можно считать несомненным, что эти интрузивные породы генетически связаны с продуктами наземного вулканизма, являясь его интрузивной (гипабиссальной) фазией. Об этом достаточно убедительно говорит их геологическое положение и общность химизма и минералогического состава лав и соответственных интрузивных пород.

Атлантический тип пород характерен для вулканических островов Атлантического, Тихого и Индийского океанов, а также широко распространен в пределах форланда орогена, будучи приурочен к крупным разломам уже в пределах платформы. В этом типе резко преобладающими являются лавы базальтового состава (в том числе оливинбазальтовые и трахибазальтовые) и характерны трахиты, фонолиты, различные щелочные базальтоидные породы, встречающиеся, однако, в небольших количествах. В глубоко размытых вулканических аппаратах обнаружены интрузивные тела габбро, эссексита и других щелочных габброидов, монцонита, нефелинового сиенита и щелочных бесполовошпатовых пород. Единичны случаи нахождения щелочного сиенита и щелочного гранита.

Следует иметь в виду, что в громадном большинстве случаев четвертичный вулканизм проявлялся в виде вулканов центрального типа, причем вулканизм этот является постороженным (тихоокеанский тип) или вулканизмом областей кратогена стадии поднятия. Что касается массовых трещинных излияний, сопровождающихся дайками и пластовыми интрузиями, то они характерны для областей и периодов погружения и проявляются, с одной стороны, в зонах кратогена (трапповые формации), с другой — в зонах орогена в стадию формирования геосинклинальных осадков (спилито-кератофировые формации).

Трапповые формации давно известны, широко распространены и хорошо изучены. Для них характерен в общем очень однообразный состав эффузивных и интрузивных представителей (базальты и габбродиабазы или долериты) и незначительная в общем дифференциация, хотя в отдельных случаях (Сибирская трапповая формация, траппы Деккана) констатируется появление в небольшом количестве щелочных пород. В кровле долеритовых интрузий Карру нередко зоны гранофировых пород в верхнем контакте долеритовых силлов и жилы гранофиров, внедряющиеся в долерит. Уокер и Польдерварт [47] приводят убедительные доказательства реоморфического их происхождения.

В спилито-кератофировых формациях мы встречаемся обычно с более разнообразным комплексом пород, индивидуальные особенности которых, впрочем, всегда сильно затушеваны явлениями аутометаморфизма (альбитизации). При этом устанавливается совершенно отчетливо обычное резкое преобладание спилитовых пород над кератофитами и высказываются предположения, что спилито-кератофировые формации полностью отвечают нормальному щелочноземельному (тихоокеанскому) типу, индивидуальные же их особенности обусловлены геологическими условиями образования (подводные излияния).

Все, что известно относительно основных особенностей всего базальтоидного (вулканического) комплекса, позволяет сделать следующие выводы:

1. Несомненным является, что все породы комплекса, и интрузивные, и экструзивные, являются продуктами кристаллизации или затвердевания магмы, т. е. являются магматическими в полном смысле этого слова.

2. Так как базальты и долериты (габбродиабазы) являются резко преобладающим количественно типом пород в этом комплексе и так как, кажется, нельзя назвать ни одного вулкана, который не изливал бы наряду с другими и базальтовые лавы, естественным является вывод о базальтовом составе магмы, родоначальной для всего комплекса. Вывод этот уже давно стал для всех привычным и подтверждается всеми новыми данными.

3. Химико-минералогическое разнообразие пород базальтоидного комплекса обусловлено процессами дифференциации и ассимиляции. При этом разнообразие, наблюдающееся в атлантическом типе, а также в трапповых формациях и выражающееся в образовании пород щелочного ряда, почти несомненно обязано процессам дифференциации, в основном кристаллизационной, в то время как разнообразие пород тихоокеанского типа (нормальный щелочноземельный ряд), вероятно, обусловлено не только дифференциацией, но и ассимиляцией значительного количества кислых пород сиала.

4. Широкое распространение гранофиров реоморфического происхождения в кровле долеритовых силлов Карру, а также давно известные случаи переплавления гранитов в контакте с диабазами наводят на мысль о том, что внедрение горячей базальтовой магмы в породы сиала может привести не только к ассимиляции, но и к переплавлению последних. Не исключена возможность, что липариты и риолиты, ассоциирующие с базальтами при отсутствии промежуточных разностей, представляют собой продукты излияния таких кислых магм реоморфического происхождения.

5. „Базальтоидный“ вулканизм проявляется не только наземными излияниями, но и сопутствующими последним интрузивными телами, размещавшимися преимущественно в гипабиссальной обстановке, т. е. продукты „базальтоидного“ вулканизма могут иметь и эффузивный, и интрузивный облик. Спектр пород интрузивного облика, возникающих в результате дифференциации и ассимиляции базальтовой магмы, разнообразен, но характерным является, что среди них практически отсутствуют нормальные граниты и гранодиориты. Они представлены преимущественно породами типа габбро и долерита и щелочными габброидами, реже диоритами, монцонитами, гипербазитами, нефелиновыми сиенитами, очень редко щелочными сиенитами и щелочными гранитами. Примерами интрузий, генетически связанных с эффузивными комплексами и имеющими „базальтоидное“ происхождение, являются: послеюрские щелочные интрузии Алданского района; трапповые интрузии Сибирской платформы; столбовская интрузия нордмаркита окрестностей Красноярска, кв. альбититы Абазы, возможно Маинская „гранодиоритовая“ интрузия и т. д.

В. Гипербазитовый комплекс

Среди ультраосновных пород достаточно отчетливо намечаются по крайней мере два генетических типа. Один из них представлен слабо серпентинизированными пироксенитами, дунитами и перидотитами, ассоциирующими с габбро-норитовыми породами и связанный с последними постепенными переходами. Ультраосновные породы этого генетического типа или участвуют в сложении крупных лополитов (например, Бушвельдского), или образуют мелкие самостоятельные тела, известные мне, например, по Кузнецкому Алатау и Енисейскому краю и описанные в ряде других районов. Генетическая связь их с габбро и норитами совершенно очевидна и несомненным является, что ультраосновные породы этого генетического типа являются продуктами дифференциации базальтовой магмы и, следовательно, являются составной частью „базальтоидного“ комплекса.

Нас сейчас интересует другой генетический тип ультраосновных пород, тип, представленный серпентинитовыми апогарцбургитовыми интрузиями „серпентинитовых (офиолитовых) поясов“.

Этот тип серпентинитовых интрузий, всесторонне изученный В. Н. Лодочниковым [32], обычен только для складчатых областей. Интрузии характеризуются линзообразной формой; вертикальным залеганием серпентинитовых линз; исключительно слабым контактовым воздействием на боковые породы; весьма однообразным серпентинитовым составом, причем серпентиниты в громадном большинстве случаев развиваются по гарцбургитам, значительно реже по дунитам и пироксенитам; несерпентинизированные разности этих пород весьма редки; точно так же редкими являются ассоциирующие с серпентинитами полевошпатовые породы, за исключением плагиоклазитовых жил, являющихся скорее гидротермальными образованиями.

В результате обсуждения вопроса о происхождении серпентинитовых интрузий В. Н. Лодочников [32, 33] пришел к совершенно категорическому утверждению, что они во всяком случае не могут быть продуктами кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы. Холмс [56], Алешков [1; 2], Хесс [54] настаивали на самостоятельности ультраосновной магмы, причем Хесс попытался объяснить и механизм интрузий гипербазитовой магмы, рождающейся в результате выборочного плавления перидотитового пояса литосферы. Идею о самостоятельности ультраосновной магмы подчеркивает Д. С. Белянкин [7]. Мне представляется, что эти соображения о самостоятельной гипербазитовой магме заслуживают всяческого внимания и должны быть приняты.

Опыт построения общей гипотезы образования магматических пород

Магматические породы—гетерогенные образования

Таким образом, сейчас можно считать твердо установленным, что базальтоидные, гранитоидные и гипербазитовые комплексы формируются на поверхности и внутри литосферы отдельно в пространстве и времени, будучи связаны с различными формами геотектонических движений. Серии пород, связанных с гранитоидным, базальтоидным и гипербазитовым магматизмом, очень своеобразны. Но вместе с тем необходимо лишний раз подчеркнуть, что конвергенция признаков у производных базальтоидных и гранитоидных магм, базальтоидных и гипербазитовых магм, у собственно магматических и некоторых метаморфогенных образований—дело совершенно обычное, причем во многих случаях возникают совершенно различными путями породы, очень близкие по своему химико-минералогическому составу и структурным особенностям.

Следовательно, можно считать сейчас твердо установленным, что многие, если не большинство групп и семейств и даже видов „магматических“ горных пород, выделяемых в петрографических классификациях, могут возникнуть различными путями, т. е. быть производными гранитной, базальтовой и гипербазитовой магм, а также продуктами гранитизации или базификации, т. е. существенно метаморфическими образованиями. Разнообразие магматических пород, возникающих за счет каждого отдельного типа исходной магмы, может быть обусловлено явлениями ассимиляции и дифференциации. В общем, к настоящему времени накоплено совершенно достаточно данных, чтобы говорить о конвергенции признаков у генетически разнородных магматических пород, как о совершенно обычном и нормальном явлении, а также, чтобы полагать, что вся совокупность пород, которые принято обычно называть магматическими, представляет собой комплекс весьма гетерогенных образований. При этом явления гетерогении обнаруживаются не только в сиенитовых и диоритовых типах, что было установлено еще Ф. Ю. Левинсон-Лессингом [29], но и распространены гораздо шире, обнаруживаясь в любых типах, причем количество примеров гетерогении все увеличивается и увеличивается. Таким образом, гетерогенность среди магматических пород является закономерностью, а не случайностью, как это казалось раньше. Теоретически эта закономерность обосновывается тем, что минеральный состав кристаллических (магматических и метаморфических) пород полностью определяется значением координат „х“, „t“, „р“ во время процесса породообразования и не зависит от происхождения исходного вещества; структура же этих пород определяется не только (и может быть даже „не столько“) способом образования, сколько свойствами минеральных компонентов, слагающих породу. Отсюда должен быть сделан следующий вывод: 1) совершенно бесплодными были и будут всякие попытки создать „универсальную“ теорию образования магматических пород (см. стр. 20); 2) вопрос о генезисе магматических пород должен решаться для каждого типа отдельно и с учетом всей геологической обстановки и всей истории его развития.

А. Происхождение гранитоидного комплекса

О соотношении магматизма и метаморфизма

Мыт уже имели случай убедиться в том, что существуют весьма различные очки зрения на происхождение гранитоидов, причем часть исследователей, например, считает их магматическими образованиями, другая часть—метаморфическими. Изложенное выше позволяет утверждать, что те и

другие правы и не правы и что гранитоиды могут иметь и магматическое, и метаморфическое происхождение. С вопросом о происхождении гранитоидов тесно связан и другой, более широкий и общий вопрос, — это вопрос о соотношении магматизма и метаморфизма, который различными исследователями также решается по-разному и разобраться в котором совершенно необходимо, если мы хотим подойти к решению вопроса о происхождении гранитов.

У большинства современных исследователей имеется определенная тенденция связывать с магматической деятельностью не только собственно контактовый метаморфизм, но и образование кристаллических сланцев. Например, Д. С. Коржинский особо подчеркивает, что „всякий метаморфизм силикатных пород связан с магматическими явлениями и совершается под непосредственным воздействием магмы или постмагматических растворов“ [16]. Но наряду с этими господствующими представлениями имеются и другие, согласно которым региональный метаморфизм и образование кристаллических сланцев являются совершенно независимыми от магматической деятельности процессами. Харкер, например, прямо утверждает, что „кажется более естественным считать интрузии за обычную частность регионального метаморфизма, нежели принимать их за причину последнего“ [49].

Мне кажется, что и в этом вопросе о соотношении кислой магмы и метаморфизма являются правыми защитники обеих противоположных точек зрения, но правыми не вообще, а только в специфических частных случаях. С моей точки зрения, причина разногласий по вопросу о соотношении магматизма и метаморфизма, так же как и по вопросу о происхождении гранитов, заключается в метафизической ограниченности защитников крайних и противоположных взглядов; в том, что и магматизм, и метаморфизм рассматриваются в застывших формах без учета их исторического развития и взаимодействия с окружающей средой; в том, что частные закономерности принимаются за общие.

Этот вопрос о соотношении метаморфизма и вулканизма обсуждался мною достаточно подробно в работе, опубликованной еще в 1941 г. Основные выводы по данному вопросу могут быть сформулированы следующим образом:

1. Можно считать доказанным, что в корневых частях геосинклинальных зон, в связи с их складчатостью, развивается метаморфизм, выражающийся в развитии кристаллических сланцев и не зависящий от магматической деятельности.

2. Этот метаморфизм на больших глубинах, в зонах, особенно сильно разогретых, может перерасти в плавление, т. е. магмообразование, являющееся выражением перехода количественных изменений в качественные.

3. Родившаяся на глубине магма приобретает способность к самостоятельному движению, и процесс перерастает в свою противоположность... Магма, родившаяся на большой глубине и пришедшая на малые глубины, оказывается в противоречии с окружающими породами. Система магма—континент оказывается неравновесной, что служит причиной контактовых явлений, выражающихся в ассимиляции и контактовом метаморфизме.

Эти выводы я считаю правильными и сейчас. Вопрос о соотношении метаморфизма и вулканизма должен решаться не вообще, а с учетом развития процесса и данной конкретной обстановки. Региональный метаморфизм больших глубин и кислая магма в стадии своего возникновения порождаются общей причиной, связаны друг с другом парагенетически, причем и магма, и силикатные массы, за счет которых она возникла, находятся в равновесии друг с другом. Но магма, переместившаяся из места своего рождения в верхние зоны литосферы, неизбежно вступает в противоречие с окружающей

средой, что и выражается в активном контактовом воздействии магмы на окружающие породы, т. е. здесь уже магма вызывает метаморфизм.

Совершенно аналогично должен решаться вопрос о происхождении гранитоидов. Магматические гранитоиды, несомненно, существуют—это граниты верхних структурных этажей, имеющих явно интрузивное залегание. Но вместе с тем рождающиеся на глубине в нижних структурных этажах гранитные магмы должны иметь свою предисторию, и прежде чем появится магма—качественно новое образование—субстрат, за счет которого она рождается, должен испытать постепенные количественные изменения, выражающиеся не только в его разогревании, но и в постепенном приближении его состава к составу гранита. Эта „домагматическая“ стадия развития и может быть названа стадией гранитизации, поскольку в течение ее субстрат постепенно приобретает состав гранита. Следовательно, в природе существуют и магматические, и метаморфические граниты, но оформляются они на различных стадиях развития процесса и в различной геологической обстановке. Такова диалектика магматических явлений.

Рассмотрим процесс гранитообразования в его развитии.

Стадия гранитизации

Выше мы определили гранитизацию как метасоматический процесс, сопровождающийся привнесением одних элементов и выносом других, в результате которого твердая порода (без прохождения через магматическую стадию) становится более похожей на гранит, чем она была раньше, и в пределе приобретает гранитный состав. Следовательно, для гранитизации обязательно приток вещества и, повидимому, приток энергии.

Вопрос об источнике энергии, потребной для гранитизации, является общим с вопросом об источнике энергии тектонических процессов, который рассматривался И. Н. Кропоткиным [18] и рядом других исследователей. Космогонической теорией О. Ю. Шмидта предусмотрены явления радиоактивного распада и гравитационной дифференциации вещества Земли в качестве основных источников энергии тектонических процессов (а следовательно, и гранитизации). Впрочем, вопрос этот мне представляется в данном случае второстепенным.

Гораздо более важным является вопрос о притоке вещества. Состав мигрирующих при гранитизации веществ рассматривался многими исследователями, и в последнее время Н. Г. Судовиковым [45]. Можно с ним согласиться, что в общем случае гранитизация сопровождается привнесением щелочей и кремнезема и выносом железа, магния и кальция. Этот вопрос о составе мигрирующих веществ решается в каждом отдельном случае относительно просто сравнением составов исходных пород и продуктов гранитизации. Гораздо более сложным и до сих пор ни в коем случае не решенным является другой вопрос—откуда приходят щелочи и другие вещества, необходимые для гранитизации? Некоторые исследователи (Четвериков, Белоусов) ищут источник гранитизирующих веществ в центральных частях планеты, связывая миграцию их кверху с продолжающимся до сих пор процессом ее дифференциации, согласно гипотезе О. Ю. Шмидта [40]. Другие пытаются найти местные источники этих веществ. Мне кажется, что и этот вопрос в отдельных случаях должен решаться по-разному.

Например, в южной части Енисейского кряжа явления гранитизации проявились при формировании нижнеархеозойского канского метаморфического комплекса и связанных с ним чарнокитов, а также при формировании посылненской и таракской гранитных интрузий.

Канский метаморфический комплекс сложен в основном гранатовыми и гиперстеновыми гнейсами, являющимися продуктами перекристаллизации осадочных пород. Среди гранатовых гнейсов, состоящих из кварца, анде-

зина, граната и небольшого количества биотита, очень часто встречаются гранат-ортоклазовые гнейсы, залегающие в виде мелких линз и пропластков, жилочек и неправильных обособлений с постепенными переходами к вмещающим гранат-плагиоклазовым гнейсам. В некоторых случаях наблюдались целые обнажения, сложенные массивными гранат-ортоклазовыми породами, среди которых, однако, всегда имеются расплывающиеся полосы и линзы гранат-плагиоклазовых гнейсов. Эти гранат-ортоклазовые породы рассматривались мной в свое время как продукты метаморфической дифференциации (т. е. как латераль-секреционные образования), сопровождающейся миграцией веществ, причем метаморфическая дифференциация переросла в палингенез, продуктом которого явились разнообразные чарнокиты (см. выше). Эти наблюдения и выводы из них, сделанные 15 лет назад, могут быть переведены на современный язык следующим образом: 1) эти линзообразные и жилообразные массы гранат-ортоклазовых гнейсов, а также все чарнокитовые породы являются продуктами гранитизации, причем гранитизация достигала стадии образования гранитовидных пород; по достижении этой стадии гранитизированный материал приобретал подвижность и мог образовывать интрузии; 2) гранитизация сопровождалась привносом калия и небольшого количества кремнезема; 3) источником калия были, несомненно, вмещающие массы гранат-плагиоклазовых и гиперстен-плагиоклазовых гнейсов, ныне совершенно лишенных калиевого полевого шпата, т. е. гранитизация является здесь частным случаем метаморфической дифференциации. Кстати, ряд особенностей структуры и минералогического состава позволяет говорить и о способе переноса. Полное отсутствие явлений замещения, сохранение в гранитизированных породах тех же гранатов и гиперстенов, которые характеризуют вмещающие породы, отсутствие зонарных плагиоклазов, ортоклазовый характер калиевого полевого шпата, идеальная свежесть всех компонентов породы и отсутствие „вторичных“ минералов— все это заставляет говорить о стерильных условиях метаморфизма и гранитизации и полностью исключает всякую возможность инфильтрации растворов. Указанные особенности гранитизированных пород заставляют думать о диффузии калия, причем диффузии скорее в твердом состоянии.

Совершенно иначе проявилась гранитизация, например, при образовании „посольненской интрузии“, которая сложена весьма однообразными микроклиновыми гранитами и сопровождается широким полем в различной степени фельдшпатизированных пород, причем и сами граниты имеют явно метасоматический характер, выражающийся, в частности, в унаследованности текстур, широко развитых явлениях замещения плагиоклаза микроклином и амфиболом—биотитом и т. д. Граниты и фельдшпатизированные породы развиваются за счет различного первичного субстрата—частью за счет кристаллических сланцев археозоя, частью за счет слабо метаморфизованных осадочных пород нижнего протерозоя, причем зоны гранитизации прослеживаются на сотни километров, будучи отчетливо приуроченными к регионально развитым тектоническим зонам. В данном случае гранитизация также сопровождалась привносом щелочей (главным образом калия, меньше натрия) и ничтожных количеств кремнезема, а также удалением кальция, магния и железа. Но механизм гранитизации несомненно был другим. Судя по развитым структурам метасоматического замещения, по явлениям биотитизации граната и гиперстена пород канского метаморфического комплекса при их гранитизации и т. д., можно думать, что гранитизация здесь протекала при значительном участии летучих веществ и скорее всего имела инфильтрационный характер, причем источник гранитизирующих растворов надо искать где-то на большой глубине, и он во всяком случае не является местным.

Таким образом, процесс гранитизации в разных случаях протекает по-разному.

Мне представляется, что Н. Г. Судовиков совершенно прав, говоря: „...весь постепенный процесс гранитизации, с последующим переходом в реоморфическое и интрузивное состояния, можно рассматривать как некоторый количественно нарастающий процесс, приводящий к новому качеству. Медленно развивающаяся гранитизация и постепенное увеличение жидкой фазы приводят к возникновению новых качеств, именно—способности к инъекции, интрузии“. [43, 96]. Но следующее за этой цитатой предложение: „Возникающие при этом массы становятся во многом сходными с магматическими“ вызывает уже серьезные возражения, так как именно эти возникающие при гранитизации подвижные массы следует называть „гранитной магмой“.

Возможны ли другие способы возникновения гранитной магмы? Безусловно, возможны, но вряд ли они играют сколько-нибудь крупное значение в формировании гранитоидов. Например, неоднократно описывались случаи переплавления гранитоидов на контакте с диабазами, описаны реоморфические гранофиры, образовавшиеся за счет аргиллитов на контакте с долеритами Карру [47], высказывалась мысль о реоморфическом происхождении красных гранофировых гранитов Бушвельдского комплекса [53]. В общем возникновение гранитных расплавов и гранитных пород под влиянием теплового и эманационного воздействия базальтовых интрузивных масс на окружающие их породы, близкие к гранитному или гранитного состава, повидимому, вполне возможно, но вряд ли этот способ может иметь сколько-нибудь крупное значение, прежде всего потому, что нужны какие-то особые условия, при которых боковые породы испытывают переплавление или реоморфизм, но отсутствуют явления ассимиляции базальтовой магмой вещества этих боковых пород.

Широкой популярностью пользуются представления о возникновении гранитных магм в результате селективного плавления сиалического материала, выдвинутые впервые Эсколой [52], поддерживаемые, например, Елисеевым [13] и Афанасьевым [4] и разделявшиеся ранее мной. Теоретически селективное выплавление наиболее легкоплавких смесей при простом нагревании любой многокомпонентной системы—вполне естественный процесс. При нагревании сиалического материала земной коры первые порции жидкой фазы должны иметь гранитный состав, поскольку можно считать, что граниты—это анхизвтектическая система. Количество этой гранитной жидкости зависит от состава исходного материала и будет большим только при гранитном составе исходного материала. В общем же случае эта эвтектическая жидкость быстро перестанет быть эвтектической (т. е. перестанет быть гранитной), как только начнут плавиться при прогрессирующем процессе компоненты, избыточные по отношению к составу эвтектической смеси.

Таким образом, процесс селективного плавления может дать различные результаты: 1) при плавлении древних гранитов может возникнуть однородная во всяком случае чисто гранитная магма. Но этот процесс не будет являться процессом селективного плавления, так как под последним всегда понимается выплавление легкоплавких эвтектических сплавов из смесей неэвтектического состава; 2) при селективном плавлении негранитного исходного материала может получиться различное количество гранитного расплава. В том случае, если количество жидкости достаточно, вся масса частично расплавленного материала может приобрести подвижность и станет способной к интрузии, но эта масса не будет иметь состав гранита—она не может существенно отличаться от состава исходной породы. Очевидно, этот теоретический случай не пригоден для объяснения происхождения гранитных интрузий. В том же случае, если количество жидкости мало, она также не может дать начало гранитной „магме“. Прежде всего эта

межзерновая жидкость, согласно нашему определению, еще не является „магмой“. Чтобы эта межзерновая жидкость могла дать начало „магме“, необходима ее концентрация, т. е. перемещение в пространстве. Но это перемещение расплава путем механической инфильтрации невозможно, пока жидкость находится в пленочном состоянии и, вероятно, сильно затруднено в жидкостях, выполняющих капилляры. Химическое воздействие этой только что рожденной жидкости на окружающие кристаллы также исключается, поскольку жидкость находится в момент рождения в равновесии с окружающей средой. В общем, эти представления о возможности рождения гранитных магм в результате селективного плавления негранитного материала, без предварительной его гранитизации, мне представляются мало вероятными.

Таким образом, наиболее важный и наиболее типичный случай рождения гранитной магмы можно представить себе следующим образом.

В корневых частях орогена (геосинклинальной зоны) в связи с интенсивными тектоническими движениями и в результате поднятия температуры (а, возможно, также одновременно начинающейся миграции вещества) начинают развиваться явления регионального метаморфизма, выражающиеся в перекристаллизации с образованием минеральных ассоциаций, устойчивых в условиях данной температуры и давления. Перекристаллизация обязательно сопровождается метаморфической дифференциацией, которая проявляется особенно интенсивно в наиболее глубинных зонах. Сущность процесса метаморфической дифференциации: растворение, встречная диффузия наиболее подвижных компонентов (в первую очередь щелочей и щелочных земель), диффузионный метасоматоз с развитием порфиробластов, конкреций и прослоев, причем происходит дальнейшее обогащение участка исходной породы, первично относительно обогащенного данным компонентом. Одним из проявлений метаморфической дифференциации являются кварц-полевошпатовые „латераль-секреционные“ вениты, линзообразные и пластообразные обособления гранитовидных пород среди кристаллических сланцев негранитного состава и тому подобные образования, описывавшиеся многими исследователями, начиная с Хольмквиста [55], в том числе и автором. Поскольку при такой метаморфической дифференциации очень обычным является избирательное обогащение некоторых участков породы щелочами и обеднение щелочными землями, в результате чего состав этих участков приближается к составу гранита, можно утверждать, что гранитизация является частным случаем метаморфической дифференциации, но частным случаем, имеющим особое значение и проявляющимся иногда в колоссальных масштабах, вероятно, именно благодаря тому, что в этом виде метаморфической дифференциации принимают участие наиболее подвижные компоненты.

Выше уже обращалось внимание на то, что процесс гранитизации может протекать по-разному. В том случае, если миграция вещества обеспечивалась только диффузией атомов в твердой среде или в пленочных жидкостях и если легколетучие компоненты не участвовали в миграции, результат гранитизации оказывается незначительным благодаря возможности проявления диффузии только на ограниченные расстояния; возникают латераль-секреционные вениты, гранитовидные породы, несмещенные или смещенные на небольшие расстояния чарнокитовые массы (см. стр. 24). В том же случае, если в миграцию вещества в процессе метаморфической дифференциации вовлекались не только щелочи и щелочные земли, но и значительные массы наиболее подвижных летучих компонентов, получала возможность проявиться не только диффузия атомов, но и инфильтрация газов или весьма разбавленных растворов. Вероятно, что вторым условием возможности проявления инфильтрации является наличие ослабленных тектонических зон. Не случайной, видимо, является приуроченность гранитоидных интрузий, зон гранитизации и зон особенно интенсивного метаморфизма к глубинным разломам. В этих условиях миграция вещества может идти уже

на очень большие расстояния, и метаморфическая дифференциация приводит к созданию иногда громадных масс в различной степени гранитизированных пород и „метасоматических“ гранитов. При этом, я полагаю, что разница между жилками гранитного состава в латераль-секреционном вените и массивом метасоматического гранита скорее количественная, чем качественная.

На определенной стадии процесса метасоматической гранитизации, когда благодаря местной концентрации ряда компонентов, и в том числе летучих, состав гранитизированного материала приближается к составу гранита или иначе—к составу тройной эвтектики: кварц + калиевый полевой шпат + кислый плагиоклаз, начинается плавление при продолжающемся метасоматозе. Когда объем жидкой фазы достигает примерно 25% общего объема, вся система: кристаллы + жидкость—получает возможность течь как целое. Этот момент можно считать моментом рождения гранитной магмы, обладающей потенциальной пока возможностью к образованию гранитных интрузий.

Только что рожденная и не перемещенная в пространстве гранитная магма находится в равновесии с окружающей средой и, естественно, не способна ни к какому контактовому воздействию или явлениям ассимиляции. Агрегативное состояние ее может быть различным. Можно думать, что в тектонически спокойной обстановке магма еще до ее интрузии может полностью гомогенизироваться и затем интродуцировать в виде гомогенного расплава. В тектонически неспокойной обстановке магматическая масса приходит в движение рано, еще до полной гомогенизации; интродуцирует каша из кристаллов и жидкости. Почти во всех случаях гранитные магмы концентрируют в себе большие количества летучих компонентов, привнесенных в зону гранитизации в стадию метасоматоза. Поэтому они, имея сравнительно невысокую температуру, обладают высокой химической активностью, которая, впрочем, проявляется только тогда, когда магма приходит в движение и оказывается в соприкосновении с неравновесными с ней системами. Интрузия гранитной магмы, раз начавшись, дальше развивается сама собой, поддерживаясь энергией, накопленной в магме в стадию гранитизации и проявляющейся преимущественно химической активностью магмы. При этом продвижение магмы вверх, видимо, может осуществляться двумя способами: как механическая инъекция и путем постепенного продвижения вверх и в стороны фронта гранитизации и магнообразования, т. е. путем „магматического замещения“ [17].

Рождение кислых гранитных магм во времени, видимо, приурочено к наиболее напряженным фазам геосинклинальной складчатости. По завершении складчатости находящаяся на глубине под колоссальным давлением магма получает возможность самостоятельного поднятия в верхние зоны литосферы. Совершенно очевидно, что осадочные толщи верхних зон ко времени прихода интрузии уже испытали свою складчатость, расщепленность и иногда региональный метаморфизм. И вот магма, родившаяся на большой глубине и пришедшая на малые глубины, оказывается в противоречии с окружающей средой. Система: магма + вмещающие породы—здесь оказывается принципиально неравновесной, причем степень неравновесности определяется существенно разницей температур магмы и вмещающих пород и различием их химизма, в том числе количеством и составом летучих. В стремлении создать новое, свойственное данной обстановке равновесие, она ассимилирует боковые породы, отдавая одновременно последним избыток тепла и свои составные части, т. е. вызывая контактовые метаморфизмы различного типа.

Причины разнообразия состава гранитоидных интрузий средних глубин

Значительное петрографическое разнообразие гранитоидных интрузий средних глубин может быть обусловлено различными причинами: 1) прежде

всего еще в зоне рождения возможно возникновение кислых магм несколько различного состава, в основном гранитного и гранодиоритового; 2) во время поднятия гранитная или, правильнее; гранитоидная магма неизбежно ассимилирует значительные количества постороннего материала; 3) ассимиляция продолжается и на месте окончательного размещения интрузивного тела, причем этот процесс приводит к появлению большей части материала краевых зон и шлировых масс более основного состава, чем гранит; 4) в отдельных случаях крупную роль играет газовая дифференциация, обуславливающая, например, появление аплитовидных гранитов в апикальных частях алтайских гранитных интрузий; 5) в обстановке среднеглубинных интрузий большое значение имеют процессы метасоматоза, в частности с образованием пород магматического облика и даже гранитов, т. е. процессы гранитизации свойственны и средним глубинам, но здесь гранитизация уже обусловлена магматическими эманациями, выделяемыми гранитной магмой при ее охлаждении и кристаллизации. Примером метасоматических пород магматического облика могут служить описанные Г. Д. Афанасьевым из Центрального Кавказа метасоматические диориты, а также порфириовидные микроклиновые граниты, возникшие в результате метасоматической микроклинизации гранодиоритов [4, 5]; 6) наконец, нужно учитывать перекристаллизацию и собирательную кристаллизацию, которые, видимо, идут в крупных масштабах в постмагматическую стадию жизни кислых интрузий, на что недавно обратил внимание А. Н. Заварицкий [14]. В результате этого процесса могут возникнуть не только пегматиты, но существенно измениться облик всей массы гранита. Например, постоянная приуроченность кварцевых жил к телам аплитов, залегающих среди гранитов некоторых алтайских интрузий, вероятно, объясняется перекристаллизацией гранита с развитием аплита вдоль трещины, по которой циркулировали растворы, отложившие кварц и другие минералы жилы.

Что же касается процессов кристаллизационной дифференциации, то она, повидимому, в формировании кислых интрузий никакой роли не играет.

До сих пор остается неясным вопрос, возможно ли излияние гранитной магмы на поверхность и образование кислых экстрезий и гипабиссальных интрузий гранитного состава. В составе четвертичных лав липаритовые лавы играют совершенно подчиненное значение, встречаясь преимущественно совместно с промежуточными, андезитовыми лавами, что указывает на вероятную их связь с базальтовой магмой. Но в более древних вулканических сериях нередко встречаются массовые излияния преимущественно кислых лав, при совершенно подчиненной роли основных. Примером могут служить среднедевонская кератофировспилитовая серия Рудного и Центрального Алтая, в которой решительно преобладающим типом являются кв. кератофиры и кв. альбитофиры. Трудно объяснить особенности состава этой серии иначе, чем излиянием особой кислой магмы.

Б. Происхождение базальтоидного комплекса

Полная неразработанность вопроса о происхождении базальтовых магм

Как это ни странно, но несмотря на долгое господство в петрологии гипотезы единой родоначальной базальтовой магмы, вопрос о том, как и за счет чего эта магма образуется, остается до сих пор совершенно не разработанным и, например, механизм образования гранитной магмы сейчас более понятен, чем механизм образования базальтовой магмы. Видимо, ссылка на вечную и вездесущую родоначальную базальтовую магму совершенно удовлетворяла большинство исследователей. Вместе с тем вопрос о происхождении базальтовых магм далеко не так прост, как он кажется на первый взгляд, и распадается на ряд частных вопросов.

Вопрос о субстрате, за счет которого образуются базальтовые магмы. Обычное представление о возникновении базальтовой магмы за счет особой базальтовой оболочки или пояса литосферы разделяется далеко не всеми. Например, В. Н. Лодочников [34] решительно отрицал возможность существования такой оболочки. Боуэн полагал, что базальтовая магма возникает в результате селективного плавления перидотитового субстрата. В последнее время появляются новые данные, также говорящие против базальтового пояса. К числу их относятся новые данные о связи вулканизма с глубинными разломами и глубокофокусными землетрясениями, позволяющие говорить о зарождении магматических очагов, по крайней мере, на глубине 100—120 км., т. е. глубже нижней границы распространения гипотетического базальтового пояса и в пределах менее гипотетичной симатической оболочки. Все это заставляет подходить очень осторожно к определению характера субстрата, за счет которого рождаются базальтовые магмы, кстати, далеко не так однообразные по своему составу, как это казалось раньше.

Точно так же совершенно неясен вопрос о механизме магнообразования, связанный с вопросом об агрегативном состоянии гипотетического базальтового субстрата. В случае стекловидного его состояния вопрос решается просто. Магнообразование—это понижение вязкости стекла в связи с поднятием температуры или понижением давления. Но наличие самого стекловатого базальтового пояса не может быть увязано с современными представлениями о строении Земли. Если же базальтовый пояс имеет кристаллическое строение, трудно допустить возможность переплавления его, как целого, без предварительного выплавления альбититовых или олигоклазитовых эвтектических магм, продукты кристаллизации которых должны были бы встречаться гораздо чаще, чем это есть на самом деле. Поэтому более вероятным является предположение о возникновении базальтовых магм за счет селективного плавления „симы“, имеющей предположительно перидотитовый состав.

Наконец, неясным остается и вопрос о составе самой базальтовой магмы. В настоящее время совершенно отчетливо устанавливается наличие, по крайней мере, двух типов базальтовых магм—атлантического (оливин-базальтового или трахибазальтового) и тихоокеанского (толеитового), каждый из которых дает свой комплекс дифференциатов. Но остается неясным, являются ли оба типа самостоятельными, возникающими в разной геотектонической обстановке и может быть за счет разного субстрата, или оба типа являются продуктами дифференциации какого-то третьего типа базальтовой магмы, или же, наконец, один из этих типов является производным от другого. Закономерная приуроченность атлантического типа к океаническим островам и тихоокеанского—к материкам и особенно складчатым зонам, делает очень заманчивым предположение о том, что толеитовая магма является продуктом заражения материалом сиала первичной оливин-базальтовой магмы.

Точно так же остается неясной причина возникновения базальтовых магм, и ясной является только связь проявлений базальтового вулканизма с трещинной тектоникой и с областями преимущественного погружения. Можно было бы думать поэтому, что непосредственной причиной плавления является понижение давления в субстрате, но этому противоречит связь современного вулканизма тихоокеанского пояса с глубинными разломами, падающими под материк и имеющими, следовательно, скорее надвиговый характер.

Все эти вопросы по существу еще почти не обсуждались и очень далеки от своего разрешения. Вместе с тем периодическое появление в литосфере базальтовых магм в громадных количествах и весьма постоянных по своему составу остается фактом, с которым мы должны считаться.

Причины разнообразия петрографического состава базальтоидного комплекса

Более ясным является вопрос о дальнейших судьбах базальтовых магм и составе пород базальтоидного комплекса, который был уже отчасти рассмотрен выше. Можно считать установленным, что базальтовые магмы способны и к ассимиляции постороннего материала, и к дифференциации.

Дифференциация в чистом виде проявляется в атлантическом (оливин-базальтовом) типе и приводит к возникновению пород щелочного ряда—щелочных базальтоидов, трахитов, фонолитов и соответственного состава интрузивных пород, преимущественно гипабиссальных. В генетической связи с таким базальтоидным комплексом могут появляться даже щелочные сиениты и щелочные граниты, но последние встречены в таких районах (послеюрские интрузии Алдана, трапповая формация Деккана), в которых нельзя считать исключенными явления ассимиляции. Так как подобные щелочные комплексы базальтоидного происхождения приурочены преимущественно к внутренним частям океанических областей и платформам, т. е. развиваются в анорогенных областях с отсутствующим или тонким слоем сиала, можно думать, что именно эти условия благоприятны для проявления дифференциации в чистом виде с образованием щелочных типов.

Разнообразие пород, возникающих за счет тихоокеанского (толеитового) типа магм, вероятнее связано с комплексным проявлением ассимиляции и дифференциации, в результате чего базальтовая магма дает нормальный щелочноземельный ряд: базальт—андезит—дацит—риолит и соответственного состава интрузивные породы. Доказательства проявления ассимиляции базальтовой магмой материала боковых пород с появлением более кислых разновидностей, вплоть до пород типа кв. диорита, многочисленны, причем такая ассимиляция проявляется весьма эффектно даже в диабазовых дайках, например, в диабазах южной части Енисейского кряжа или в диабазах Томского района. Можно было бы думать, что ассимиляция является единственной причиной появления средних и кислых пород базальтоидных комплексов. Однако то обстоятельство, что туфы, выбрасываемые из жерла вулкана при возобновлении его деятельности, всегда имеют более кислый состав, чем вытекающие затем лавы, а также сравнение состава лав, одновременно изливавшихся в 1937 г. вулканом Ключевская сопка из паразитических кратеров у основания вулкана и у его вершины [15], показывает, что в жерлах вулканов центрального типа сравнительно легко и быстро осуществляется гравитационная дифференциация, приводящая к накоплению в верхней части магматического столба относительно кислого и легкого материала. Вулканические комплексы тихоокеанского типа приурочены, как известно, к зонам складчатости, являясь посторогенными образованиями, и, следовательно, формируются в тектонически неспокойной обстановке и в зонах с резко утолщенным сиалом, что, конечно, должно способствовать возможности ассимиляции кислого материала и соответственного изменения состава магм.

Ассимиляция базальтовой магмой постороннего материала, по крайней мере судя по наблюдениям в диабазовых дайках, выражается почти исключительно в простом переплавлении или растворении постороннего материала, идущем в еще жидкомагматическую стадию, о чем свидетельствуют часто встречающиеся в дайковых диабазах или базальтах зерна оплавленных ксеногенных кварца или микроклина.

Процессы дифференциации базальтовой магмы в разных случаях протекают по-разному. Исследованиями Эдвардса [51] намечается, что процессы дифференциации приводят к существенно различным результатам в случае проявления в закрытых (силл, лополит) или „сквозных“ (дайка) камерах. В первом случае, по Эдвардсу, дифференциация приводит только к накоплению железа в остаточных расплавах, во втором—к появлению кислых пород нор-

ального щелочноземельного ряда. Сравнение химизма пяти последовательных циклов извержений Везувия, каждое из которых начиналось выбросом трахитовой или фанолитовой пемзы и заканчивалось излиянием щелочных базальтоидных лав, показывает, что лавы каждого цикла не являются простым повторением лав предыдущего цикла, но обладают своими особенностями химизма, причем линии, соединяющие начальные точки векторов, изображающих состав пород каждого цикла на диаграмме Заварицкого и отражающие, следовательно, особенности химизма каждого цикла, не совпадают друг с другом, но располагаются параллельно [15, рис. 62], что позволяет говорить о том, что характер дифференциации, идущей в жерле вулкана в период покоя, существенно отличен от характера дифференциации в глубинном вулканическом очаге.

Механизм дифференциации базальтовой магмы долгое время, пока в петрологии почти безраздельно господствовала гипотеза Боуэна, казался простым и понятным, причем все разнообразие пород, во всяком случае принадлежащих к базальтоидному комплексу, большинством исследователей объяснялось процессом кристаллизационной дифференциации, хотя сразу же после появления гипотезы Боуэна и раздалась протестующие против нее голоса Левинсон-Лессинга, Лодочникова, Феннера и других. В настоящее время можно считать доказанным, что процесс кристаллизационной дифференциации играет в общем весьма скромную роль не только в трапповых формациях, где он проявляется только в изменении состава фемических минералов [44, 47], но даже в расслоенных согласных интрузиях типа Шонкин-саг, которые раньше приводились в качестве классического примера проявления кристаллизационной дифференциации на месте. Более детальные исследования показали, что все такие расслоенные интрузии являются многофазными и, следовательно, процесс дифференциации шел не внутри интрузивного тела, а в „глубинном очаге“. О механизме же дифференциации в „глубинных очагах“ мы по существу ничего не знаем, но вряд ли там может идти кристаллизационная дифференциация, если под „глубинным очагом“ понимать зону рождения базальтовых магм. Поэтому различный состав последовательных „фазовых“ инъекций магмы может быть обязан или дифференциации в приводном канале во время поднятия магмы, или же тем, что эти „фазовые“ магмы имели первично различный состав.

Ю. А. Билибин [9] пришел к заключению, что одной кристаллизационной дифференциацией нельзя объяснить всего разнообразия пород щелочного комплекса Алданского района и что наряду с кристаллизационной дифференциацией здесь имела место магматическая (диффузионная) дифференциация, которая шла в сторону увеличения содержания K_2O за счет равномерного уменьшения содержания всех остальных компонентов, в то время как кристаллизационная—приводила к повышению содержания SiO_2 в последовательно обособляющихся дифференциатах. Мне представляется эта схема в достаточной мере искусственной, тем более, что все процессы и магматической, и кристаллизационной дифференциации относятся Билибиным в „глубинный очаг“, а механизм диффузионной дифференциации никак не разъяснен. Вместе с тем совершенно очевидно, что кристаллизационная дифференциация не является единственным видом дифференциации, обуславливающим разнообразие пород базальтоидного комплекса. Наряду с ней несомненно имеет место какая-то магматическая дифференциация, приводящая, в частности, к „отстаиванию“ легких порций магмы в верхних частях магматического тела, проявляющаяся особенно эффективно в жерлах вулканов центрального типа. Механизм этой дифференциации еще совершенно неясен, но не исключена возможность, что здесь идет расслаивание магматического раствора по удельному весу, аналогично расслаиванию водных растворов солей, установленному опытами Земятченского и Кузьмина [22].

В. Происхождение гипербазитового комплекса

Выше были приведены обоснования к выделению особого гипербазитового магматического комплекса, проявляющегося в виде интрузий „серпентинитовых“ или „офиолитовых“ поясов и являющегося продуктом самостоятельной гипербазитовой магмы. Вопрос о происхождении гипербазитового комплекса решается гораздо проще, чем вопрос о происхождении базальтоидного комплекса, хотя и в самой общей форме.

Субстратом, за счет которого возникают гипербазитовые магмы, можно считать перидотитовую—симатическую оболочку, реальность которой доказывается наличием непрерывного слоя с плотностью 3,2, залегающего на глубине около 60 км в пределах Евразийского материка, 20 км в Атлантическом океане и почти на самом дне Тихого океана. Конечно, перидотитовый состав симатического слоя—это гипотеза, но весьма вероятная. Гипербазитовая магма, рождающаяся внутри и за счет симы, вероятно, имеет гарцбургитовый состав, но значительно обогащена водой и другими летучими, понижающими температуру ее плавления. Механизм магмообразования—это селективное плавление субстрата с концентрацией в жидкой фазе прежде всего летучих, присутствующих в небольшом количестве в субстрате. Причина плавления неясна, но несомненным является, что условия, при которых появляются гипербазитовые магмы, осуществлялись в истории Земли относительно редко, обычно только один раз в истории развития каждой данной геосинклинальной структуры. Рождение гипербазитовой магмы связано с глубинными разломами, развивающимися по границам геосинклинального трога, и именно—с ранними стадиями развития глубинных разломов. Гипербазитовые комплексы обнаруживают некоторую дифференциацию с обособлением, с одной стороны, дунитов, с другой, пироксенитов, при резком преобладании среднего гарцбургитового типа. Судя по тому, что дуниты обычно встречаются только в крупных глубоко размытых массивах, а пироксениты приурочены к мелким—и верхушечным частям гипербазитовых массивов, можно думать, что дифференциация имела гравитационный характер, но осуществлялась ли эта дифференциация в гомогенной или гетерогенной среде, т. е. была ли она магматической или кристаллизационной, сказать трудно. Обычному представлению о кристаллизационной дифференциации противоречат факты инъекции дунитов в перидотиты. Любопытно подчеркнуть, что гипербазитовая магма, повидимому, совершенно не обладает какой-либо способностью к ассимиляции боковых пород, а контактное воздействие ее на боковые породы очень слабо и имеет в основном гидротермальный характер. Все это говорит о небольшом запасе свободной энергии в гипербазитовых магмах и прежде всего об относительно низкой ее температуре.

Г. Происхождение главных типов магматических (и магматического облика) пород

Выше было указано и, я надеюсь, доказано, что большинство групп и семейств и даже видов магматических пород, выделяемых в петрографических классификациях, могут возникнуть различными путями и являются гетерогенными образованиями. Пределы разнообразия петрографических типов, которые могут возникнуть за счет гранитной, базальтовой и гипербазитовой магм, а также в результате гранитизации, были намечены выше. Здесь будет сделана попытка дать обзор, хотя бы самый краткий, возможных способов образования главных типов, входящих в состав главных групп привычной нам минералогической классификации горных пород.

Группы ультраосновных пород

Среди ультраосновных пород совершенно отчетливо выделяются два генетических типа: производные базальтовой и производные гипербазитовой магмы.

Последние представлены бедными железом (отношение $Mg : Fe > 7,5$), кальцием и глиноземом гарцбургитами, реже лерцолитами, дунитами и пироксенитами, слагающими линзовидные тела, ориентированные по зонам глубинных разломов, окаймляющих крупные складчатые структуры. Для этих интрузий весьма характерны интенсивная автометаморфическая серпентинизация и слабый контактовый метаморфизм.

Ультраосновные производные базальтовой магмы—это преимущественно относительно богатые железом (отношение $Mg : Fe > 3,5—7,5$) гортонолитовые дуниты и перидотиты, а также авгитовые пироксениты, дающие постепенные переходы через габбропироксениты и габброперидотиты к габбровому типу. В этих породах обычна первичная полосчатость, серпентинизация не характерна. Обычна ассоциация с габбро и норитами в согласных центральных интрузиях, а также в дайках, и преимущественное распространение в областях кратогена. К этому же типу должны быть отнесены кимберлиты, меймечиты и пикриты в качестве эффузивных представителей.

Иногда встречается и третий генетический тип ультраосновных пород: это горнблендиты, реже пироксениты, возникающие в результате ассимиляции и контактового метасоматоза гранитоидными магмами карбонатных пород. Пироксениты этого типа представлены диопсидовыми разностями.

Группы габбро-базальта

Подавляющее большинство габбро, норитов, анортозитов, все габбро-диабазы (долериты) и базальты, все базальтовые порфириты, диабазы и спилиты естественно являются прямыми продуктами кристаллизации базальтовой магмы или ее производными. Разнообразие химико-минералогического состава внутри этой группы объясняется частично различным характером исходных базальтовых магм (оливин-базальтовой или толеитовой), а главным образом—явлениями ассимиляции и дифференциации. Но нужно иметь в виду, что породы типа габбро иногда встречаются в основных краевых зонах гранитных интрузий, и в таких случаях они уже никакого касательства к базальтовой магме не имеют, являясь типичными гибридами гранитной магмы с известняками. Такие габбро обычно характеризуются светлым диопсидовым пироксеном и бедны рудными примесями. Следует отметить также, что некоторые породы, описанные как анортозиты, габбро и нориты, в действительности являются кристаллическими сланцами наиболее глубокой метаморфической фации—фации гиперстеновых гнейсов.

Группы гранита-липарита и гранодиорита-дацита

Внутри этой группы можно выделить ряд генетических типов, объединенных вместе только по формальному признаку некоторой общности химико-минералогического состава. Это гранитоиды метасоматического и реоморфического происхождения, гранитоиды и соответственные эффузивы—продукты гранитной магмы и, наконец, гранитоиды и кислые эффузивы—продукты базальтовой магмы.

Метаморфогенные гранитоиды естественно представлены только породами интрузивного облика. Сюда должны быть отнесены, прежде всего, собственно метасоматические граниты зон гранитизации, всегда микроклиновые, часто порфировидные, иногда уклоняющиеся к граносиенитовым и даже щелочным типам (метасоматических гранодиоритов, обыкновенных по Судо-

вигову для Карелии, я ни разу не наблюдал). Для них характерны отсутствие секущих контактов и постепенные переходы в степени гранитизации к вмещающим породам, наличие незамещенных останцев, слоистая унаследованная текстура, несовершенная идиоморфная, часто гранобластическая, обычно порфировидная или порфиробластическая структуры, явления замещения микроклином плагиоклаза и других минералов, ситовидные структуры в микроклине и т. д. Распространены метасоматические граниты преимущественно в докембрии и залегают среди кристаллических сланцев, являются типичными представителями абиссальной фации, хотя явления гранитизации, в не особенно крупном масштабе, констатированы, например, на Алтае, и в палеозойских образованиях и здесь развивались на меньших глубинах.

К метаморфогенным же гранитоидам относятся описанные автором чарнокиты Енисейского кряжа, являющиеся продуктами „сухой“ гранитизации и образующие атохтонные и аллохтонные тела. Они отличаются составом из кварца, ортоклаза, плагиоклаза, граната, гиперстена и биотита в переменных количествах и весьма непостоянны по составу, приближаясь то к типу гранита, то, граносиенита, кв. диорита и кв. норита. Характерно отсутствие явлений контактового метаморфизма и автометаморфизма. Чарнокиты встречаются только среди кристаллических сланцев фации гиперстенового гнейса и являются представителями ультраабиссальной фации магматических пород.

К метаморфогенным гранитоидам должны быть отнесены пироксеновые гранофиры и гранофировые граниты, ассоциирующие с трапповыми и габброноритовыми интрузиями силловой и лополитовой формы и залегающие в кровле последних. Большинство исследователей последнего времени склоняется в пользу метаморфического или реоморфического их происхождения [47].

Гранитоиды магматического происхождения (продукты гранитной магмы) пользуются широким распространением и в докембрии и в последокембрийских складчатых сооружениях. Они представлены гранитами, адеманеллитами, гранодиоритами, реже трондjemитами и щелочными гранитами, дающими постепенные переходы друг к другу. Характерными особенностями их является секущее или частично секущее залегание, резкие контакты с вмещающими породами и контактовый метаморфизм последних, наличие зон закалки, выражающихся в уменьшении крупности зерна с приближением к контакту, наличие текстур течения и независимость последних от текстуры вмещающих пород, нормальные гипидиоморфные структуры, ясно проявленный гидротермальный автометаморфизм. Петрографический состав может быть пестрым, разновидности часто дают постепенные переходы друг к другу, но не к вмещающим породам. Характерно, что собственно гранитные интрузии очень однообразны по составу (граниты, граносиениты, аплиты и пегматиты), в то время как гранодиоритовые интрузии имеют весьма пестрый состав (гранодиориты, адеманеллиты, иногда граниты, плагиограниты, кв. диориты и диориты, тоналиты и т. д.). Видимо, гранодиоритовые интрузивные комплексы развиваются в том случае, если гранитная магма обладала большой химической активностью и большой способностью к ассимиляции. В противном же случае оформлялись более простые по составу гранитные комплексы.

Эффузивы и гипабиссальные интрузивы, обязанные своим происхождением гранитной магме, прорвавшейся к поверхности, повидимому существуют (алтайские эффузивные и интрузивные кв. порфиры и кв. альбитофиры?), но выделить их от кислых эффузивов и гипабиссальных интрузивов базальтоидного происхождения не представляется возможным.

В группу гранита-липарита и гранодиорита-дацита, совершенно очевидно, включены и кислые производные базальтовых магм. Во всяком случае почти нельзя сомневаться в том, что дацитовые и липаритовые лавы вулканов, извергавших преимущественно базальты и андезиты, являются продук-

тами базальтовой магмы, зараженной кислым материалом сиала и испытавшей гравитационную дифференциацию. Точно так же нельзя сомневаться в том, что такие кислые расплавы базальтоидного происхождения могли давать и гипабиссальные интрузии, представленные преимущественно щелочными гранитами и граносиенитами, а также кв. альбититами и кв. олигоклазитами (Семейтавский магматический комплекс СВ Казахстана, кв. альбититы Абаканского месторождения, может быть Маинский гранодиорит).

Группы диорита-андезита и сиенита-трахита

Гетерогенность этих двух групп магматических пород совершенно отчетливо была установлена Левинсон-Лессингом [29], который указал, что интрузивные и эффузивные их представители не являются даже химическими эквивалентами и имеют различное происхождение.

Эффузивные представители этих групп несомненно и целиком имеют базальтовое происхождение, судя по закономерной их ассоциации с базальтовыми породами в современных вулканах и древних вулканических комплексах. Андезиты дают совершенно постепенные переходы к толеитовым базальтам и являются, видимо, продуктами заражения базальтовой магмы кислым материалом, может быть сопровождающегося дифференциацией. Трахиты связаны через трахибазальты с оливиновыми базальтами и являются продуктами дифференциации оливин-базальтовой магмы.

Сложнее дело обстоит с интрузивными представителями этих групп. Громадное большинство диоритов и сиенитов (кв. диориты и диориты, сиениты и граносиениты), ассоциирующих с гранитами и гранодиоритами в гранитных и гранодиоритовых интрузивных комплексах и образующих краевые зоны в крупных плутонах или образующие мелкие сателлитовые тела, несомненно являются гибридами гранитной магмы с вмещающими породами. Но наряду с ними достаточно широко распространены диоритовые и сиенитовые породы базальтоидного происхождения и являющиеся интрузивными, преимущественно гипабиссальными эквивалентами андезитовых и трахитовых лав, которые, конечно, могли не только изливаться на поверхность, но и давать интрузивные тела. К сожалению, этот тип диоритовых и сиенитовых пород с трудом выделяется из гранитоидного типа, хотя представители его должны достаточно резко отличаться прежде всего по химическому составу, являясь полными эквивалентами соответственных эффузивов. Повидимому к этому генетическому типу относятся многие авгитовые диориты и диорито-диабазовые типы дайковых и „малых“ интрузий различного возраста, широко развитых в Салаире и Кузнецком Алатау. Сюда же должны быть отнесены среднедевонские интрузии кв. щелочных сиенитов, широко развитых в Вост. Саяне и частично Кузнецком Алатау.

Наконец, следует отметить, что диориты и сиениты могут иметь и метасоматическое происхождение, причем метасоматические диориты и метасоматические сиениты хорошо изучены и описаны [5].

Группы щелочных пород (нефелинового сиенита-фонолита и щелочных габброидов и базальтоидов)

Генетическая связь щелочных габброидов и базальтоидов с базальтовой (оливин-базальтовой) магмой является несомненной. Точно так же, видимо, легко решается вопрос с фонолитами, которые, закономерно ассоциируя в вулканических комплексах с базальтами, видимо, связаны с ними и генетически. С этими же вулканическими базальтоидными комплексами часто ассоциируют нефелиновые сиениты, примеры чему приведены А. Н. Заварицким [15]. К такому же выводу о генетической связи щелочных интрузий Алданского района с базальтовой магмой приходит Ю. А. Билибин [8; 9], причем соображения его представляются вполне убедительными. Имеются основания думать, что вообще громадное большинство нефелин-сиенитовых

интрузий областей кратогена и наиболее поздние посторогенные щелочные интрузии складчатых зон имеют такое же базальтоидное происхождение. Однако наряду с таким преобладающим генетическим типом реально существует другой, генетически связанный с гранитными магмами и обязанный своему происхождению процессам ассимиляции карбонатных пород. Примером могут служить нефелиновые сиениты района оз. Буланкуль, представляющие собой краевую зону граносиенитовой интрузии на контакте с известняками.

Выводы

Основные выводы, которые могут быть сделаны из этого весьма краткого обзора возможных способов образования главнейших типов магматических (и магматического облика) пород, напрашиваются сами собой и могут быть сформулированы кратко:

1. В группы пород классических минералогических классификаций включены весьма гетерогенные образования, а сами классификации являются формальными, базируются только на признаке химико-минералогического состава и совершенно не учитывают происхождения магматических пород.

2. Назрела необходимость разработки новой генетической классификации магматических пород, первые варианты которой уже предложены Ф. Ю. Левинсон-Лессингом [31] и мной [21]. Но предварительно должна быть выполнена громадная работа по вопросам генезиса магматических пород, во многих случаях еще совершенно неясного, и вопросам установления критериев генезиса магматических пород.

Заключение

В петрологии, и особенно в вопросе о происхождении магматических пород, исключительно велики разногласия по ряду вопросов, особенно много гипотез, претендующих на „универсальность“, и вместе с тем здесь, рядом с новейшими достижениями науки, мирно уживаются безнадежно устаревшие понятия. Видимо, у каждого ученого периодически возникает необходимость систематизировать знания и идеи в той области науки, в которой он работает, и выработать какое-то более или менее стройное мировоззрение по основным, генетическим, узловым вопросам своей науки. Изложенное выше и является моими рабочими представлениями по вопросу о происхождении магматических пород, которые, как мне кажется, удалось привести в более или менее стройную систему, отвечающую геологическим фактам и методологически выдержанную. Вместе с тем я отчетливо сознаю, что все изложенное выше пока еще только схема и первая наметка общей теории магматического процесса. Здесь, вероятно, много недостаточно обоснованных и может быть даже скороспелых выводов. Очень многое в проблеме происхождения магматических пород остается неясным. Где и как рождается базальтовая магма? Если она рождается за счет „симы“, то почему в одних случаях появляется базальтовая, а в других гипербазитовая магмы? Чем объясняется различный энергетический уровень гранитной, базальтовой и гипербазитовой магм? Напрашивается ответ, что энергетика магмы определяется не тепловой, а химической энергией. Но в таком случае, чем объяснить обычный очень высокий энергетический потенциал гранитной магмы? Изложенная выше гипотеза не объясняет этого. Да и вообще объяснить этот вопрос законами классической физики и физической химии по видимому нельзя. Видимо, в процессах магмообразования выступают на сцену явления другого порядка, например, связанные с освобождением внутриатомной энергии. Эти и подобные им вопросы еще ждут своего разрешения.

В процессе разработки темы предпринятая мной работа иногда казалась мне преждевременной, но меня воодушевляли и оправдывали замечательные слова М. В. Ломоносова, которые я взял эпиграфом к своей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешков А. Н.—Дунито-перидотитовые массивы Полярного Урала. Мат. Ком. Эксп. вып. 18, Акад. Наук СССР, 1929.
2. Он же—К вопросу о „родоначальной“ магме. Изв. АН, сер. геол., вып. 5, 1940.
3. Афанасьев Г. Д.—Явления микроклинизации в гранодиоритовых интрузиях батолитового типа Зап. Кавказа. Изв. АН, сер. геол., № 3, 1949.
4. Он же—Гранитоиды древних интрузивных комплексов Сев.-Зап. Кавказа. Труды ин-та геол. наук, вып. 69, петрографическая серия (28). Акад. Наук СССР, 1950.
5. Он же—О роли гранитизации в формировании гранитоидных массивов некоторых складчатых областей. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1951.
6. Баклунд Х.—Проблема гранитизации. Сб. „Проблемы образования гранитов“, 1, 1949.
7. Белянкин Д. С.—К вопросу о современном состоянии и перспективах учения о магмах и магматических горных породах. Изв. АН сер. геол., № 5, 1947.
8. Билибин Ю. А.—Послеюрские интрузии Алданского района. Петрография, СССР, сер. 1, региональная петрография, вып. 10. Петрография Алдана. Изв. АН СССР, 1941.
9. Он же—Петрология Ыльмахского интрузива. Госгеолиздат, 1947.
10. Боуэн Н.—Магмы. Сб. „Проблемы образования гранитов“, 1, 1949.
11. Он же—Гранитная проблема и метод многократных предубеждений. Сб. „Проблемы образования гранитов“, II, 1950.
12. Вембан К. А.—Пути дифференциации в траппах Декана. Перевод. Сб. „Геология и петрография трапповых формаций“. Изд. ин. лит., 1950.
13. Елисеев Н. А.—Гранитизация и метасматические граниты. Ученые записки Ленинградского университета, № 2, 1951.
14. Заварицкий А. Н.—О пегматитах, как образованиях, промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами. Зап. Всерос. минер. о-ва, № 1, 1947.
15. Он же—Введение в петрохимию изверженных горных пород. Изд. АН СССР, 1950.
16. Коржинский Д. С.—Факторы минеральных равновесий и минералогические фации глубинности. Труды Ин-та геол. наук, вып. 12, АН. 1940.
17. Он же—Гранитизация как магматическое замещение. Изв. АН, сер. геол., № 2, 1952.
18. Кропоткин П. Н.—О происхождении гранитов. Советская геология, № 9, 1940.
19. Он же—Космогоническая теория О. Ю. Шмидта и строение Земли. Изв. АН СССР, сер. географич. и геофизич., № 1, 1950.
20. Кузнецов Ю. А.—Схема классификации фаций магматических пород. Труды Горно-геол. ин-та ЗСФАН, вып. 5, 1949.
21. Он же—О происхождении, номенклатуре и классификации магматических пород. Изв. АН СССР, сер. геол., № 6, 1951.
22. Кузьмин А. М.—Массовая кристаллизация на многих уровнях. Изв. Томского политехн. ин-та, том 65, вып. 2.
23. Куплетский Б. М.—Обзор современных взглядов на происхождение гранитов. Изв. АН, № 3, 1942.
24. Лебедев П. И.—Проблема изучения основной магмы. Проблемы советской геологии, № 1, 1936.
25. Он же—К вопросу о природе силикатовых и рудных магм.—Сб. „Вопросы минералогии, геохимии и петрографии“. Изд. АН СССР, 1946.
26. Левинсон-Лессинг Ф. Ю.—Об основных проблемах петрогенеза. Изв. СПб политехн. ин-та. Отд. техн., ест. и матем., 14, вып. 1, 1920.
27. Он же—Несколько мыслей о дифференциации и природе магмы.—Там же, вып. 2, 1915.
28. Он же—К вопросу о генезисе изверженных пород. Труды Мин. муз, А. Н вып. 3, 1929.
29. Левинсон-Лессинг Ф. Ю.—Проблема генезиса магматических пород и пути к ее разрешению. Изд. АН, 1934.
30. Он же—Проблемы магмы. Ученые записки Ленингр. гос. университета 3, № 17, 1937.
31. Он же—Проблемы магмы. Изв. АН, сер. геол., № 1, 1939.
32. Лодочников В. Н.—Серпентины и серпентиниты, Ильчирские и другие и петрологические вопросы, с ними связанные. Труды ЦНИГРИ, вып. 38, 1936.
33. Он же—Серпентин и серпентиниты и связанные с ними петрологические вопросы. Проблемы сов. геологии, № 5, 1933.
34. Он же—Некоторые общие вопросы, связанные с магмой, дающей базальтовые породы. Зап. мин. о-ва, ч. 68, № 2, 1939.
35. Ниггли П.—Проблема образования гранита. Сб. „Проблема образования гранитов“, 1, 1949.

36. О н ж е—Лейкократовые, трондземитовые и лейкосиенитовые магмы и анатексис. Проблема образования гранитов, II, 1950.
 37. П е р р э н Р. и Р у б о М.—О гранитной проблеме. Сб. „Проблема образования гранитов“, II, 1950.
 38. П о л к а н о в А. А.—К вопросу о гетерогенности фояитов. Изв. АН СССР № 5, 1944.
 39. О н ж е—Основные положения генетической систематики интрузивных тел. Труды юбил. сессии Ленингр. гос. ун-та, 1946.
 40. О н ж е—Генетическая систематика интрузивных тел платформы—кратогена. Изв. АН СССР, сер. геол., № 6, 1946.
 41. Р е й н о л ь д с Д. А.—Последовательность геохимических изменений, ведущих к гранитизации. Сб. „Проблема образования гранитов“, II, 1950.
 42. Р и д Х.—Размышления о граните. Сб. „Проблема образования гранитов“, I, 1949.
 43. О н ж е—Граниты и граниты. Сб. „Проблема образования гранитов“, II, 1950.
 44. С о б о л е в В.—Петрология траппов Сибирской платформы. Труды Аркт. ин-та, № 43, 1936.
 45. С у д о в и к о в Н. Г.—Метасоматические граниты. Вестник Ленингр. ун-та, № 10, 1950.
 46. Труды первого совещания по вопросам космогонии. Изд. АН СССР, 1951.
 47. У о к е р Ф. и П о л ь д е р в а р т А.—Долериты Карру Южно-Африканского Союза. Перев. Сб. „Геология и петрография трапповых формаций“. Изд. ин. лит., 1950.
 48. У с о в М. А.—Геология магматических пород. Вопросы геологии Сибири, т. 1, 1945.
 49. Х а р к е р А.—Метаморфизм. ОНТИ, 1937.
 50. Х е с с Г. Г.—Островные дуги, аномалии силы тяжести и интрузии серпентинита. Труды XVII МГК., том II, 1937.
 51. Э д в а р д с А. Б.—Дифференциация в долеритах Тасмании. Перев. Сб. „Геология и петрография трапповых формаций“. Изд. ин. лит., 1950.
 52. Е s k o l a Р.—On the origin of granitic magmas—*Miner. u. Petr. Mitteilungen*, Bd 42, teil 5–6, 1932.
 53. F e n n e r С.—A view of magmatic differentiation.—*Journ. of. geology*, 1937, № 2, p.p 156–163.
 54. H e s s Н.—A primary peridotite magma. *Amer. Journ. of Sc* 1936, XIXV, № 209.
 55. H o l m g u i s t Р.—Typen und nomenklature der Adergesteine. *Geöl. Fören Forhand Bd*, 43, 1921.
 56. H o l m s. A.—The origin of igneous rocks. *Geol Magas*. 1932, 59, 543.
 57. S e d e r h o l m I.—On migmatites and assoc.precambr. of Southwestern Finland *Bull. Com. geol. Finland*, 58, 1923; 107, 1934.
 58. T e r m i e r Р.—Les Schistes cristallins des Alpes Occident, *C.R. IX Congres geol. Intern, Vienna 1903 1990*).
 59. О н ж е—Sur la genese des terraines cristallophylltons, *C. R XI Congros. geol. Intern. Stock holm 1912*.
 60. V o l f F.—Der Vulkanismus, Bd II, Stuttgart 1923.
 61. W e g m a n n—Zur Deutung der Migmatite.—*Geol. Rundschau* 28, 1928; 26, 27, 1935.
-